

**SECADO DEL FRUTO DE COCO O MBOKAJA — *Acrocomia aculeata* — EN
SECADERO TIPO SILO PARA LA OBTENCIÓN DEL ACEITE DE PULPA
DE COCO DE GRADO ALIMENTICIO**



LARISSA BENÍTEZ MEYER

TESIS

Presentada a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de
Asunción, como requisito para la obtención del grado de INGENIERO DE
ALIMENTOS

SAN LORENZO – PARAGUAY

Julio 2017

**SECADO DEL FRUTO DE COCO O MBOKAJA — *Acrocomia aculeata* — EN
SECADERO TIPO SILO PARA LA OBTENCIÓN DEL ACEITE DE PULPA
DE COCO DE GRADO ALIMENTICIO**

LARISSA BENÍTEZ MEYER

Orientador: Ing. Quím. María Laura Correa Quevedo, M. Sc.

TESIS

Presentada a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de
Asunción, como requisito para la obtención del grado de INGENIERO DE
ALIMENTOS.

SAN LORENZO- PARAGUAY

Julio 2017

**SECADO DEL FRUTO DE COCO O MBOKAJA — *Acrocomia aculeata* — EN
SECADERO TIPO SILO PARA LA OBTENCIÓN DEL ACEITE DE PULPA
DE COCO DE GRADO ALIMENTICIO**

LARISSA BENÍTEZ MEYER

Aprobado en fecha:de.....de 2017

Tribunal Examinador:

Prof. Ing. Quím. Juan Carlos Martínez Schulz. FCQ/UNA

Prof. Ing. Quím. Carlos Domingo Méndez Gaona, M.Sc. FCQ/UNA

Prof. Ing. Quím. Ethel Sirim Onieva Feltes. FCQ/UNA

.....
Prof. Ing. Quím. MARÍA LAURA CORREA QUEVEDO, M. Sc.

Orientador

Dedicatoria

*A Dios por generarme paz en los momentos más difíciles.
A mi mamá por ser la persona que me brindó su apoyo infinito, cariño y
comprensión a lo largo de toda mi carrera.
A mi hermana por creer en mí y alentarme a seguir adelante.
Y a mis amigos por estar incondicionalmente a mi lado.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme amor, fortaleza, paz y compañía serena en los momentos que más necesite.

A mi familia por su amor y comprensión incondicional, por brindarme siempre las condiciones necesarias para que yo lograra mis objetivos y mis metas, por estar para mí ante cualquier circunstancia y apoyarme en las decisiones tomadas a lo largo de la carrera.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) un especial agradecimiento por financiar el presente trabajo de investigación mediante ello se pudo lograr la realización del mismo.

A mi tutora, la Ing. Quím. María Laura Correa Quevedo, por ser mi principal guía y gracias a la dedicación de su tiempo lograr finalizar este trabajo y alcanzar el objetivo deseado, gracias además por impulsarme a seguir adelante sin importar las adversidades presentadas.

Al Prof. Ing. Quím. Mario Amilcar Smidt Ledezma por ser un excelente profesor, ser un apoyo y guía durante mi formación profesional.

A mis amigas Jimena Lucía Acosta Escobar, Fabiola Ferreira Campos, Leila Araceli Larré Del Puerto, María Liz Páez González y Yazmin Strubing Valenzuela por ser mi apoyo y sostén no solo durante mi formación profesional sino también en mi vida personal, les agradezco infinitamente por su comprensión y cariño incondicional.

A José Carlos Crechi Jacquet y a su familia, por impulsarme a seguir adelante hasta alcanzar mis objetivos y metas, brindarme su apoyo, cariño y el poder compartir con ellos tanto mis alegrías como mis tristezas.

**SECADO DEL FRUTO DE COCO O MBOKAJA – *Acrocomia aculeata* – EN
SECADERO TIPO SILO PARA LA OBTENCIÓN DEL ACEITE DE PULPA
DE COCO DE GRADO ALIMENTICIO**

Autor: LARISSA BENÍTEZ MEYER

Orientador: Prof. Ing. Quím. MARÍA LAURA CORREA QUEVEDO, M. Sc.

RESUMEN

El coco o Mbokaja – *Acrocomia Aculeata* – es de origen nativo de Paraguay, pertenece a la familia de las Arecaceas, el fruto se compone principalmente de pulpa con un porcentaje entre 30 – 40% del peso del fruto siendo esta fibrosa, mucilaginoso, de coloración amarilla blanquecina, rica en glicéridos, con un contenido de aceite que varía entre 20 – 47%. La pulpa presenta un elevado contenido de humedad, principal problema en la extracción de aceite, por ello se debe reducir la misma al 9% para evitar la formación de emulsiones entre el agua y la grasa en la superficie de las partículas. El aceite de pulpa posee un alto contenido de ácido oleico y ácido palmítico, similares al aceite de oliva, lo que lo vuelve deseable en la industria alimenticia. Actualmente el aceite obtenido de la pulpa de coco es de baja calidad debido a las malas condiciones de almacenamiento y secado. Este trabajo evaluó mediante el análisis de varianza (ANOVA), basado en el diseño factorial 2², la influencia que presentan las condiciones de secado, variación de la temperatura (75 y 120 °C) y el caudal de aire a la entrada del secadero (0,0225 y 0,0273 m³/s) sobre los parámetros de calidad del aceite extraído de pulpa, tal que sea de grado alimenticio, reduciendo la humedad inicial de la pulpa desde 47 ± 8,5% hasta un valor menor o igual al 9%. Se realizaron los análisis del índice de acidez y rancidez oxidativa al aceite de pulpa obtenido mediante extracción con solvente hexano. Además, se determinó la influencia que presentan los parámetros operacionales, sobre el tiempo de secado como variable de respuesta. Se observó que presentan significancia sobre el índice de acidez del aceite, el caudal de aire y la interacción doble entre la temperatura – caudal de aire, no así la temperatura como variable lineal, sin embargo, ésta es la única que presenta significancia sobre el tiempo de secado. Los resultados de los análisis referidos a los parámetros de calidad del aceite extraído de pulpa, se encontraron dentro de los rangos establecidos por las normas, por lo que el aceite obtenido es considerado de grado alimenticio.

Palabras claves: Acrocomia aculeata, proceso de secado de los frutos, extracción de Aceite.

**DRYING OF COCONUT OR *MBOCAJA* FRUIT – *Acrocomia aculeata* – IN
SILO-TYPE DRYER FOR THE PRODUCTION OF FOOD-GRADED
COCONUT PULP OIL**

Author: LARISSA BENÍTEZ MEYER

Advisor: Prof. Ing. Quím. MARÍA LAURA CORREA QUEVEDO, M. Sc.

ABSTRACT

The coconut (*Acrocomia Aculeata*) or *mbokaja*, a native fruit from Paraguay, is a member of the family of *Arecaceae*, the fruit mainly composed of pulp, i.e. a percentage between 30 - 40% of the fruit weight. It is fibrous, mucilaginous, of whitish yellow color, rich in glycerides and its oil content varies between 20-47%. The pulp has a high humidity content, which is the main problem in the oil extraction, as it has to be reduced to 9% in order to avoid emulsions between water and grease on the particle's surface. Coconut pulp oil has a high content of oleic and palmitic acid, like olive oil, which is highly desirable in food industries. Currently, the coconut oil extracted from the pulp is of low quality due to inadequate storage and drying conditions. This research, by means of the analysis of variance (ANOVA), based on a factorial design 2^2 , has evaluated the influence of drying conditions, the temperature (75 and 120 °C) and air flow variations at the dryer's entrance (0,0225 and 0,0273 m³/s) on the quality parameters of oil extracted from pulp, in order to be food-graded by reducing the initial pulp humidity rate from $47 \pm 8.5\%$ to a value less than or equal to 9%. The acidity index and oxidative rancidity analysis of pulp oil were obtained by extraction with hexane solvent. In addition, the influence of operational parameters on drying time as a response variable was determined. It was observed that the air flow rate and the double interaction between the temperature – air flow, present significance on the oil acidity index, but not the temperature as a linear variable. However, this is the only variable that has a significant effect on the drying time. The results of the analysis regarding the quality parameters of the pulp oil were within the ranges established by the standards; therefore, the oil obtained is considered food graded.

Keywords: *Acrocomia aculeata*, fruit drying process, oil extraction.

ÍNDICE

	Página
1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Objetivos.	3
1.1.1 Objetivo general.	3
1.1.2 Objetivos específicos.	3
2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.	4
2.1 Descripción del coco Mbokaja.	4
2.2 Descripción del fruto de coco.	4
2.3 Descripción del aceite de la pulpa de coco.	6
2.4 Calidad del aceite.	7
2.4.1 Rancidez del aceite.	7
2.4.2 Índice de acidez.	8
2.4.3 Índice de peróxidos.	10
2.4.4 Humedad.	10
2.5 Parámetros físico-químicos en función al tiempo de permanencia de los frutos en el sistema de colecta.	10
2.6 Cosecha de los frutos de coco.	12
2.7 Tipos de secado.	12
2.8 Método actual del secado del fruto de coco.	13
2.9 Parámetros de secado.	13

2.10 Usos actuales del aceite extraído de la pulpa de coco.	15
3 MATERIALES Y MÉTODOS.	16
3.1 Localización.	16
3.2 Metodología de la investigación.	16
3.2.1 Enfoque y alcance de la investigación.	16
3.2.2 Diseño de la investigación.	16
3.3 Materia prima.	17
3.4 Materiales y equipos.	17
3.4.1 Reactivos y materiales.	17
3.4.2 Equipos.	18
3.5 Variables.	18
3.5.1 Variables independientes o de estudio.	18
3.5.2 Variables dependientes o de respuesta.	18
3.5.3 Variables de control.	19
3.6 Fase pre experimental y experimental pura.	19
3.6.1 Fase pre experimental.	19
3.6.1.1 Determinación del contenido de materia grasa en la pulpa de coco.	19
3.6.1.2 Condiciones de trabajo en el tratamiento de secado.	20
3.6.1.3 Establecimiento de la uniformidad de secado.	20
3.6.2 Fase experimental pura.	21
3.6.2.1 Secado del fruto de coco.	21
3.6.2.2 Extracción de aceite de la pulpa de coco.	21
3.7 Condiciones de secado.	22
3.8 Métodos y técnicas analíticas.	22
3.9 Tratamiento estadístico de los resultados.	23
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	24
4.1 Etapa I: Fase pre experimental.	24
4.1.1 Determinación del contenido de materia grasa de la pulpa y la cantidad de frutos de coco por cada tratamiento de secado.	24

4.1.2 Determinación de las condiciones de secado.	25
4.2 Etapa II: Fase experimental pura.	26
4.2.1 Orden de corridas y parámetros de secado.	26
4.2.2 Valores fijados para las variables de control.	26
4.2.3 Resultados obtenidos de los parámetros de calidad del aceite de pulpa. .27	
4.3 Análisis de los resultados obtenidos en la etapa experimental.	29
4.3.1 Variable de estudio: Índice de acidez.	29
4.3.2 Variable de estudio: Tiempo de secado.	34
5 CONCLUSIONES.	40
5.1 Conclusiones de la etapa experimental.	40
5.2 Recomendaciones para futuros trabajos.	42
ANEXOS.	43
ANEXO A.	43
A.1 Método de cosecha de los frutos de coco.	43
A.2 Limpieza y almacenamiento de los frutos.	43
ANEXO B.	44
B.1 Análisis de residuos: Índice de acidez.	44
B.2 Análisis de residuos: Tiempo de secado.	46
ANEXO C.	49
C.1 Descripción del equipo de secado.	49
ANEXO D.	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	60

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Fruto de coco (<i>Acrocomia Aculeata</i>).	5
Figura 2. Reacción de hidrólisis de los triglicéridos.	8
Figura 3. Acidez en función de la maduración.	9
Figura 4. % Ácidos grasos expresados en ácido oleico en función de los días de permanencia de los frutos en el sistema de colecta.	11
Figura 5. Peróxidos (meq O ₂ /kg de aceite) en función del tiempo de permanencia de los frutos en el sistema de colecta.	11
Figura 6. Actividad específica de la lipasa en función a la temperatura de secado y del tiempo de almacenamiento de los frutos.	14
Figura 7. Resultados de las pruebas cualitativas de rancidez oxidativa de cuatro tratamientos aleatorios.	29
Figura 8. Coeficientes de determinación para la relación de acidez.	31
Figura 9. Representación gráfica de los efectos principales sobre la relación del índice de acidez.	32
Figura 10. Gráfico de interacción doble sobre la relación del índice de acidez.	33
Figura 11. Diagrama Pareto de los efectos estandarizados observados sobre la relación del índice de acidez.	34

Figura 12. Coeficientes de determinación para el tiempo de secado.	36
Figura 13. Representación gráfica de los efectos principales sobre el tiempo de secado.	37
Figura 14. Gráfico de interacción doble sobre el tiempo de secado.	38
Figura 15. Diagrama Pareto de los efectos estandarizados observados sobre el tiempo de secado.	39
Figura 16. Verificación del ajuste del modelo para el índice de acidez.	44
Figura 17. Método de verificación de varianzas iguales observados sobre la relación del índice de acidez.	45
Figura 18. Método de verificación de distribución normal observado sobre la relación del índice de acidez.	46
Figura 19. Verificación del ajuste del modelo para el tiempo de secado.	47
Figura 20. Método de verificación de varianzas iguales observadas sobre el tiempo de secado.	48
Figura 21. Método de verificación de distribución normalidad observado sobre el tiempo de secado.	48

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Comparación de las características de la pulpa de coco Mbokaja y Macaúba.	5
Tabla 2. Composición porcentual de ácidos grasos en el aceite crudo de la pulpa de coco.	6
Tabla 3. Características del aceite de la pulpa de coco.	7
Tabla 4. Notación del tratamiento del diseño factorial 2^2	17
Tabla 5. Combinación de los niveles de los factores de estudio.	22
Tabla 6. Técnicas analíticas para la determinación de los parámetros de calidad y especificaciones de los valores permitidos para los mismos.	23
Tabla 7. Cantidad de frutos de coco utilizado por corrida.	25
Tabla 8. Valores seleccionados como parámetros de secado. Diseño factorial 2^2	26
Tabla 9. Orden de las corridas de secado con los parámetros correspondientes. ...	26
Tabla 10. Valores establecidos para las variables de control.	27
Tabla 11. Relación del índice de acidez obtenido para cada tratamiento de secado. .	27
Tabla 12. Rancidez oxidativa del aceite obtenido para cada tratamiento de secado. .	28
Tabla 13. Análisis de varianza de los resultados referidos al índice de acidez.	30
Tabla 14. Tiempo de secado obtenido para cada tratamiento de secado.	34
Tabla 15. Análisis de varianza de los resultados del tiempo de secado.	35

Capítulo 1

1. INTRODUCCION

La *Acrocomia aculeata* es de origen nativo de Paraguay, pertenece a la familia de las Arecaceae, se encuentra mayormente en estado silvestre, siendo una planta con gran potencial para la domesticación debido a la flexibilidad de adaptación a suelos de baja vocación agrícola en el trópico y subtropical. El rendimiento por planta es de dos a diez racimos por año. Además se calcula que la vida útil de la palmera se encuentra alrededor de 70 años (Arvelález, Mieres, & Enrique, 2013).

Los frutos son esféricos, ligeramente achatados, el epicarpio es la capa externa del fruto, la pulpa es fibrosa, mucilaginosa de sabor dulce, rico en glicéridos de coloración amarilla blanquecina; el carozo es fuertemente adherido a la pulpa con pared ósea ennegrecida y la almendra es oleaginosa, comestible y revestida de una fina capa de tegumento (Lorenzi & Negrelle, 2006).

El fruto fresco en sus partes más importantes comprende la pulpa, que representa el 30 al 40% del peso del fruto cuyo contenido de aceite varía entre 20 y 47% y la almendra, que representa el 7 al 12% del peso del fruto conteniendo entre 50 y 60% de aceite (Arias, Valiente, Corrales, Rosthoj, & Castellani, 1982).

Los principales componentes de aceite de la pulpa de coco son 66% de ácido oleico y 16% de ácido palmítico, similar a la composición del aceite de oliva, que promedia entre 55-83% de ácido oleico y 8-20% de ácido palmítico. Además otra característica

relevante del aceite de la pulpa es el alto contenido de carotenos, en su mayoría 80-90% de β -carotenos, estos desempeñan un papel antioxidante, sin embargo los mismos deben ser removido en el proceso de refinación debido a que confieren coloración al aceite (Ramos, 2008).

El contenido de humedad es una variable de relevada importancia en la extracción de aceite, por ello se debe conocer el porcentaje de humedad que debe poseer el fruto para lograr un alto rendimiento. Se observan altos rendimientos de extracción para la mayoría de las oleaginosas con valores alrededor del 9% de humedad, una humedad por encima de este valor representa disminución efectiva de la extracción debido a la formación de emulsiones entre el agua y la grasa en la superficie de las partículas, con lo que se impide que el solvente extractor penetre en las fibras y solubilice el aceite (Benardi, E., 1981).

En la Conferencia Internacional del Coco realizada en octubre del 2016 en la Universidad Nacional de Asunción se mencionó que “a una humedad del 10% presente en la pulpa de coco se logran resultados favorables en el proceso de extracción de aceite” (Ing. Agr. Prof. Leonardo D. Pimentel). Por lo que se considera próximo a este valor el contenido de humedad que debe poseer la pulpa de coco para realizar el proceso de extracción de aceite.

El problema actual del aceite extraído de pulpa es su baja calidad, debido a las condiciones inadecuadas de cosecha y almacenamiento causando altos valores de índice de acidez e índice de peróxido, para obtener un aceite de mejor calidad se propone la obtención de los frutos bajo condiciones de Buenas Prácticas de Cosecha (Nunes, Favaro, Galvani, & Miranda, 2015).

En la actualidad el fruto de coco se seca bajo el sol en lonas o tablas, bajo condiciones no controladas, es decir sin el control de la humedad relativa del aire y temperatura de secado constante, bajo condiciones climáticas adversas, y exponiéndolo además a contaminación por polvo, insectos y microorganismos que se encuentran en el ambiente. Es un inconveniente la poca información sobre los parámetros de secado de los frutos de coco mbokaja, sin embargo la Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuaria

(Embrapa) determina que el secado de los frutos en un rango de 30 – 70 °C afecta a la calidad del aceite por la alta actividad de la enzima lipasa por lo que realizan el secado de los frutos a temperaturas mayores de 70 °C.

Este trabajo de investigación se basa en el pre-tratamiento del fruto de coco en secadero tipo silo para reducir la humedad de la pulpa a un valor deseable para la extracción de aceite de misma por solvente hexano, considerando como variables independientes la temperatura y el caudal del aire a la entrada del secadero sobre los parámetros de calidad del aceite, como el índice de acidez y la rancidez oxidativa, además medir el tiempo de secado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del aceite extraído de pulpa de los frutos de coco — *Acrocomia aculeata* — que fueron sometidos al proceso de secado empleando un secadero tipo silo, a fin de obtener aceite de grado alimenticio.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la temperatura y el caudal del aire de entrada al secadero sobre el índice de acidez y la rancidez oxidativa del aceite extraído de la pulpa de coco.
- Identificar las condiciones operacionales de secado en la cual la calidad del aceite extraído de la pulpa de coco no se vea afectada negativamente.
- Realizar un modelo matemático que explique la influencia de los parámetros operacionales de secado sobre la calidad del aceite extraído de pulpa y el tiempo de secado.
- Determinar la influencia de la temperatura y el caudal del aire de entrada al secadero sobre el tiempo de secado de la pulpa de coco.
- Determinar mediante las normas de alimentos si el aceite obtenido cumple con los requisitos para ser de grado alimenticio.

Capítulo 2

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Descripción del coco mbokaja

Proviene de la familia Palmae, de la especie *Acrocomia aculeata* es una palma espinosa con un tronco único de 8 a 10 metros de alto, con un penacho superior conformado por 20 a 25 hojas, éste presenta raquis de 2,5 a 3 metros de largo, con espinas de 6 a 8 cm. El número de frutos por racimo varía de 75 a 700, pudiendo producir de 30 a más de 80 kilogramos por palmera (Selva, Rojas, & Sci, 1966).

2.2 Descripción del fruto de coco

El fruto es una drupa de cáscara dura que cubre la pulpa de color amarillo dorado y dulce cuando maduro, la que a su vez recubre el carozo duro que contiene en su interior la almendra, de carne blanca y aceitosa (Selva et al., 1966).

El fruto de coco maduro está compuesto de 15 a 20% de epicarpio o cáscara, 30 a 40% de mesocarpio o pulpa, 28 a 41% de endocarpio o carozo, y 7 a 11% de endosperma o almendra (Martín, 1976; López *et. al.*, 1987; y Villachica 1996). Se puede observar en la Figura 1 el fruto de coco mbokaja.

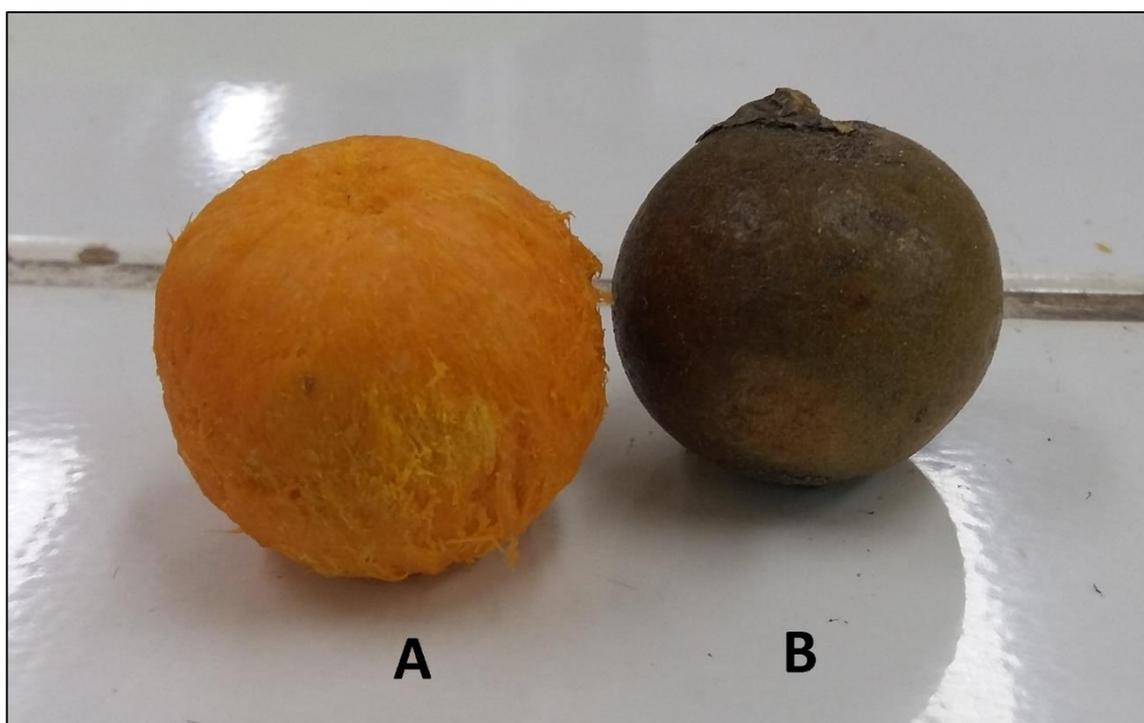


Figura 1. Fruto de coco (*Acrocomia aculeata*). A: Pulpa de coco. B: Fruto entero de coco.

Se realiza además un cuadro comparativo de las propiedades de la pulpa de coco Mbokaja *Acrocomia aculeata* (Selva et al., 1966) y la pulpa de coco Macaúba *Acrocomia aculeata* fruto de coco proveniente de Brasil, Mato grosso do sul (Favaro, n.d.) Se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de las características de la pulpa de coco Mbokaja y Macaúba.

Digestibilidad %	Pulpa de coco mbokaja	Pulpa de coco Macaúba
Materia Seca	91,9	-
Proteína	65,25	3,3
Materia Grasa	93,17	-
Fibra Bruta	95,88	45,1
Fibra Detergente Ácido (FDA)	99	47
Fibra Detergente Neutro (FDN)	80,45	67,8
Extracto No Nitrogenado (ENN)	97,02	-
Total de Nutrientes Digestibles	88,16	-

2.3 Descripción del aceite de la pulpa de coco

El aceite de la pulpa de coco es dominado por triglicéridos insaturados aproximadamente 78,5% de todos los compuestos identificados, seguido de cantidades significativas de diglicéridos alrededor del 13,2%, cantidades menores de ácidos grasos libres aproximadamente 5,6% y esteroides 1,5%; y el aceite de almendra es dominado en gran parte por triglicéridos saturados con cadenas más cortas que representan aproximadamente el 98,6% de todos los compuestos identificados, con trazas de ácidos grasos libres de 0,9%, esteroides de 0,2% y monoglicéridos 0,3% (Del Río et al., 2016).

En la Tabla 2 se puede observar el perfil de ácidos grasos presentes en el aceite crudo de la pulpa de coco. Se observa que el porcentaje de ácidos grasos insaturados en el aceite crudo de la pulpa de coco es de 80.8% y saturados de 19.2% (C. Hernández, Mieres, & Niño, 2007).

Tabla 2. Composición porcentual de ácidos grasos en el aceite crudo de la pulpa de coco.

Ácido graso	Aceite crudo de la pulpa %
Ácido Láurico (C12:0)	0,2
Ácido Mirístico (C14:0)	0,2
Ácido Palmítico (C16:0)	15,7
Ácido Palmitoleico (C16:1)	2,6
Ácido Esteárico (C18:0)	1,9
Ácido Oleico (C18:1)	66,2
Ácido Linoleico (C18:2)	11,5
Ácido Linolénico (C18:3)	0,5
Ácido Behénico (C20:0)	0,2
Ácido Lignocérico (C22:0)	0,5
Ácido Cerótico (C24:0)	0,5

El aceite extraído de la pulpa de coco presenta un alto contenido en ácido oleico que es una característica deseable para los sectores de biocombustibles y alimentarios,

debido a la estabilidad frente a la oxidación proporcionada por los ácidos grasos mono insaturados (Nunes et al., 2015).

En la Tabla 3 se muestran las características principales del aceite de la pulpa de coco (Pimenta, Andrade, Federal, & Gerais, 2012).

Tabla 3. Características del aceite de pulpa de coco.

Parámetros	Aceite de pulpa
Ácidos Grasos Libres (g/100 g en ac. oleico)	1,19
Índice de Peróxido (meq O ₂ /kg)	3,83
Índice de Iodo (g I ₂ /100 g lípidos)	78,46
Índice de Saponificación (mg KOH/g lípidos)	193,57
Humedad (g/100 g)	0,095
Punto de Fusión (°C)	ND
Carotenoides Totales (mg/kg)	94,95
Fósforo (mg/kg)	27,9
Hierro (mg/kg)	0

ND: No fue detectado.

2.4 Calidad del aceite

La calidad del aceite de la pulpa de coco se puede medir de acuerdo a los parámetros físico-químicos que son indicadores del deterioro del aceite.

2.4.1 Rancidez del aceite

La rancidez en el aceite causa deterioración organoléptica y es uno de los fenómenos más importantes en los mismos. La descomposición de glicéridos se acelera por el calor y la luz, y es casi siempre acompañada por formación de ácidos grasos libres (Moretto y Feet, 1998, 1989). Produce consecuencias tales como la deterioración en el sabor y olor, depreciación del producto y reducción del valor nutricional.

Existen dos tipos de rancidez, la hidrolítica donde se observan la rancidez enzimática y la no enzimática, la primera es un resultado de la hidrólisis parcial de glicéridos en

contacto con el aire con pequeñas cantidades de luz y enzimas hidrolasas derivada de tejidos vegetal (NOVAES, 1952) se observa tal reacción en la Figura 2 y la rancidez no enzimática se da debido a reacciones químicas.

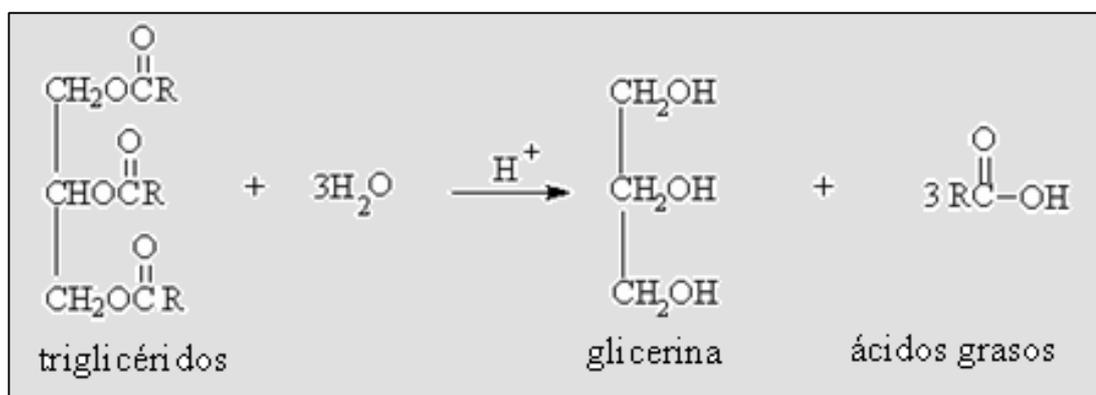


Figura 2. Reacción de hidrólisis de los triglicéridos.

El segundo tipo de rancidez es la oxidativa llamada también autooxidación, desde el punto de vista de calidad, es el factor más importante en grasas y aceites, se debe a la reacción del oxígeno atmosférico con los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, esta reacción provoca productos primarios de la oxidación tales como los peróxidos e hidroperóxidos, los cuales reaccionan produciendo compuestos secundarios que puede ser volátiles, tales como aldehídos, cetonas y ácidos, o no volátiles como dímeros, trímeros, y polímeros, característicos de productos rancificados (Barrera-arellano, 1998).

La oxidación de los ácidos grasos ocurre en dos etapas: inicia una reacción por iones metálicos o energía térmica o luminosa, produciéndose radicales, además la eliminación o reducción de los metales, principalmente hierro y cobre, por los agentes quelantes, luego estos radicales libres reaccionan con el oxígeno atmosférico, dando lugar a los compuestos oxidativos. La producción y almacenamiento a baja temperatura y/o la protección contra la luz retardarían la formación de radicales libres, retardando la rancidez, aumentando la estabilidad y la vida útil del aceite.

2.4.2 Índice de acidez

Es indicativo de la calidad de un aceite pudiéndose relacionar tanto con las características de la materia prima utilizada como con el procesamiento. La calidad del

aceite se relaciona con el grado de hidrólisis de los triglicéridos componentes. En la medida que este grado aumenta, la cantidad de ácidos grasos libres se incrementa, aumentando consecuentemente su acidez con el detrimento proporcional de su calidad (Manrique, n.d.).

Por tanto, la calidad de un aceite de coco dependerá del estado del fruto, es decir si se encuentra deteriorado o no, del grado de maduración, de las condiciones de procesamiento y almacenamiento del aceite.

En la Figura 3 se observa que a una menor actividad de las enzimas lipasas menor es el desarrollo de la acidez del aceite y que la acción de las mismas aumenta con la maduración del fruto, por tanto, existe un punto óptimo de maduración del fruto donde la acidez se encuentra en su punto más bajo.

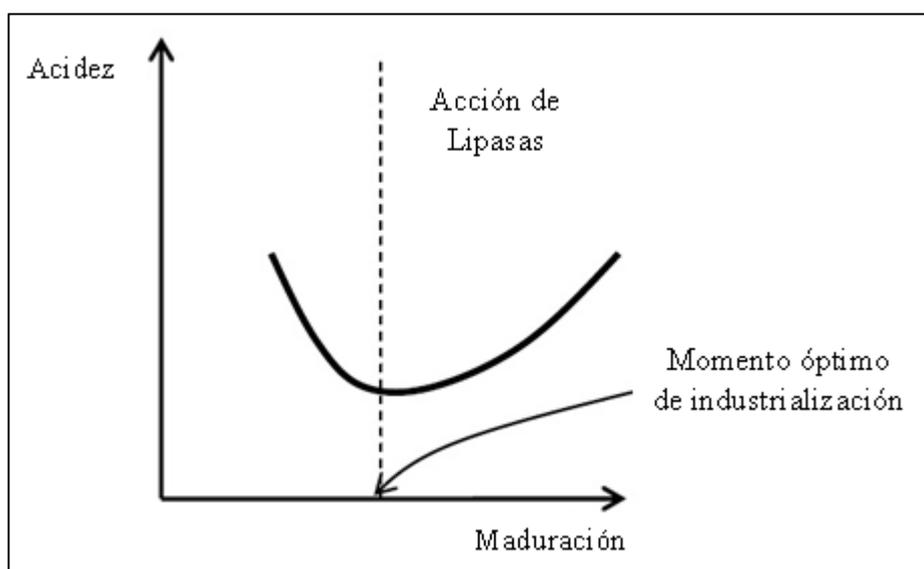


Figura 3. Acidez en función de la maduración (Manrique, n.d.).

La determinación del índice de acidez se determina según la ecuación 1, procedimiento descrito por Official Methods of Analysis (AOCS Ca 5a-40).

$$\% \text{ ácidos grasos libres} = \frac{\text{volumen de los gastos de NaOH} \times 0,1N \times 28,2}{\text{peso de la muestra (g)}} \quad (1)$$

Dónde: 28,2 es un índice derivado de la muestra patrón de ácido oleico.

El índice de acidez se calcula mediante la ecuación 2 como sigue:

$$\text{Índice de acidez} = \% \text{ ácidos grasos libres} \times 1,99 \quad (2)$$

$$\text{Relación del índice de acidez} = \frac{\text{índice de acidez final}}{\text{índice de acidez inicial}} \quad (3)$$

2.4.3 Índice de peróxidos

Indica el estado de oxidación de los aceites y grasas (Cecchi, 2003) es decir, solo podrá determinarse si el aceite se encuentra rancio. Los aceites no deben superar el valor de 10 meq por 1000 g de muestra (Malacrida, 2003). Estos valores indican una baja posibilidad de deterioro oxidativo.

2.4.4 Humedad

El contenido de humedad deteriora a la pulpa, debido a que con un alto contenido de la misma, es más susceptible a ser atacada por microorganismos, es por ello que para la conservación de la calidad del fruto se debe reducir el contenido de humedad mediante el tratamiento de secado para lograr la extracción de aceite de alta calidad.

2.5 Parámetros físico-químicos en función al tiempo de permanencia de los frutos en el sistema de colecta

Los frutos maduros que permanecen en el sistema colector se van deteriorando en función a los días de almacenamiento, es decir presentan aumento de ácidos grasos libres y por tanto de acidez se observa dicho comportamiento en la Figura 4.

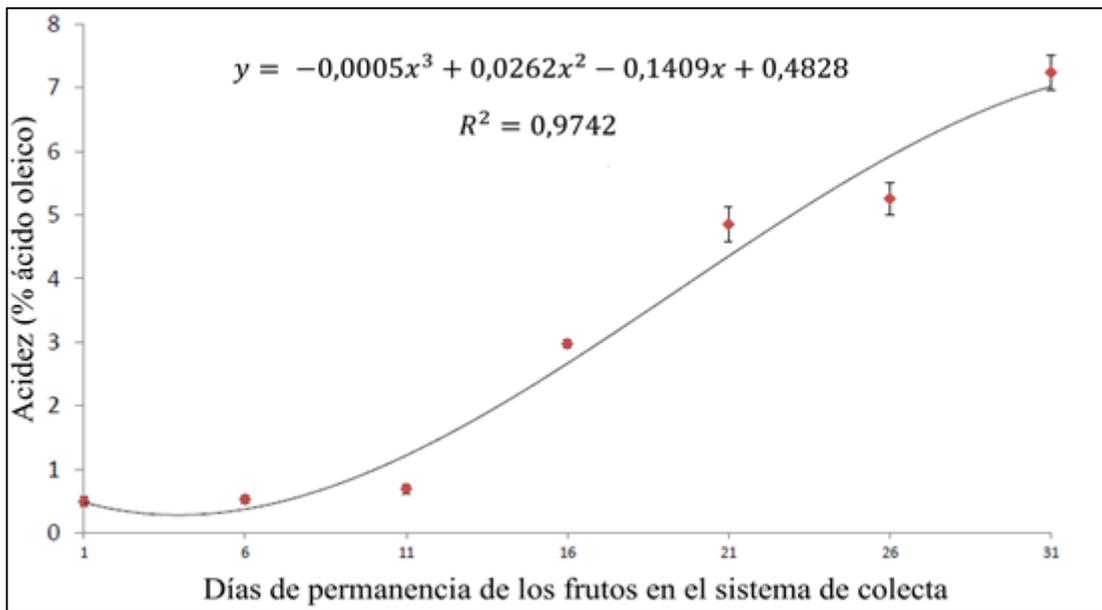


Figura 4. % Ácidos grasos expresados en ácido oleico en función a los días de permanencia de los frutos en el sistema de colecta. Fuente: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa, 2016).

Además del aumento de acidez, también se observa aumento del contenido de peróxidos en el aceite de pulpa de coco mantenidos en el campo en sistemas colectores aumenta en función a los días de almacenamiento en los mismos, debido al deterioro de los frutos, Figura 5. Por tanto, se deben colectar los frutos de coco Mbokaja los primeros días de haber caído del cacho, evitando todos aquellos frutos que hayan permanecido por un periodo de más de 7 días (Barbosa et al., 2016).

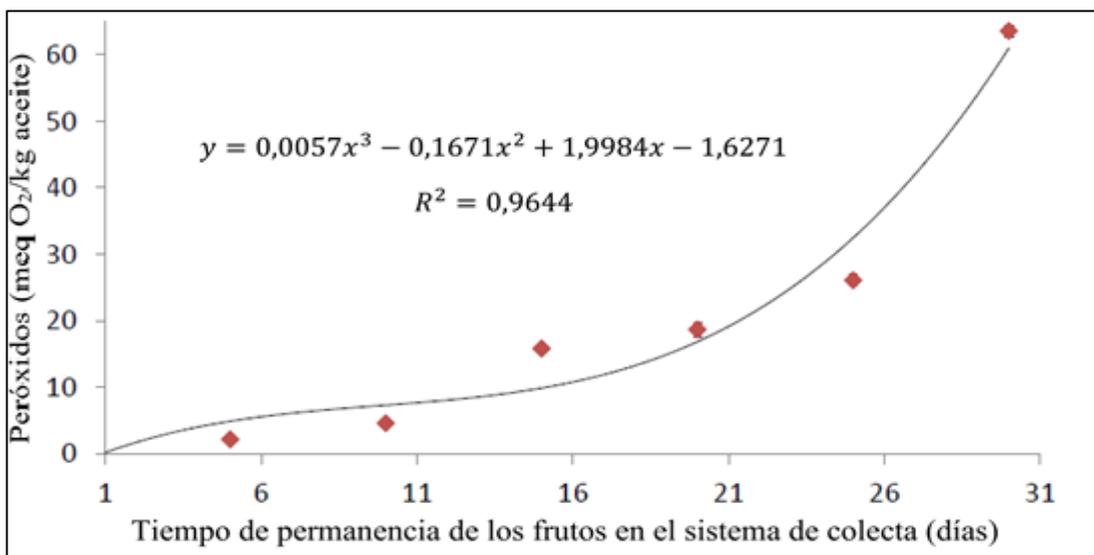


Figura 5. Peróxidos (meq O₂/kg de aceite) en función del tiempo de permanencia de los frutos en el sistema de colecta. Fuente: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa, 2016).

2.6 Cosecha de los frutos de coco

Varios factores contribuyen a la discrepancia en la composición de los frutos de coco, el primero de ellos está vinculado a la manera de cosecharlos que cuando madura cae sobre el terreno y sufren deterioro debido a contaminaciones microbianas, el segundo factor es el tiempo que transcurre entre la cosecha de los frutos y su llegada al laboratorio y por último el efecto que puede ser causado por la diferencia de las variedades y grado de madurez (SZPIZ *et al.*, 1989).

Existe un interés creciente por el uso de aceite de mesa o la de producción de biocombustible. El aceite de pulpa de coco disponible en la actualidad no cumple con las características de calidad estándar exigidos para consumo humano debido a que no se cosecha, almacenan y procesan en condiciones adecuadas. Básicamente los frutos se recogen del suelo a medida que se caen del manojito después de la madurez y el almacenamiento se realiza sin control de la humedad ni temperatura. Para obtener el verdadero potencial de la pulpa de coco, es obligatorio establecer un adecuado protocolo de procedimiento de cosecha (Nunes *et al.*, 2015).

2.7 Tipos de secado

Tradicionalmente, se utiliza secador de bandeja para realizar el secado de los frutos de coco para reducir el contenido de humedad en los mismos. El proceso, sin embargo, lleva mucho tiempo y proporciona un producto que no es consistente, tanto en términos de color y contenido de humedad, esto conduce a una alta tasa de rechazo por el consumidor. Por lo tanto existe la necesidad de una técnica de secado alternativo que pueda producir un producto más rápidamente y de mayor calidad.

El secado en lecho fluido se ha utilizado ampliamente debido a sus ventajas, tales como las altas tasas de secado debido a un excelente contacto entre el medio de secado y el producto, alta eficiencia térmica y relativamente bajo costo de operación (Mujumdar y Devahastin, 2003) como desventaja presenta un alto costo de adquisición. En numerosos trabajos se ha informado sobre el uso de secador de lecho fluido para distintos alimentos y productos agrícolas (Kaensup, Wongwises, y chutima, 1998; Kaymak-Ertekin, 2002; Reyes, Álvarez, y Marquardt, 2002; Soponronnarit,

Pongtornkulpanich, y Prachayawarakorn, 1997) aunque no se cuente con información sobre el secado de los frutos de coco.

El secadero fijo o tipo silo se utiliza con el propósito de simular el secado a nivel industrial de los frutos oleaginosos y de esta manera proponer un pre-tratamiento de secado similar, bajo condiciones controladas y estudiar si este método es aplicable al fruto de coco, manteniendo la calidad del aceite extraído de la pulpa de coco.

2.8 Método actual del secado de coco

Actualmente el secado se realiza bajo el sol, donde la exposición directa a los rayos de sol puede ser perjudicial a la calidad de los frutos debido a la acción de los rayos ultravioletas, el proceso de secado mediante este método, además de ser lento debido a la elevada humedad en el ambiente, los frutos se encuentran expuestos a cualquier tipo de contaminación ya sea por insectos, microbiológicos, etc.

Es por ello que la acidez del aceite de la pulpa de coco es elevada, debido a que se intensifica la decadencia al no realizar un tratamiento controlado de secado, disminuyendo de esta manera la calidad del mismo.

2.9 Parámetros de secado

La eliminación de agua de un alimento supone el transporte simultáneo de materia y calor. La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor generado se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste (Singh & Heldman, 2009).

El del fruto de coco que es secado en un rango de temperatura entre 30 y 70 °C se ve afectado por la alta actividad enzimática de la lipasa, está se encuentra directamente relacionada con la liberación de los ácidos grasos y por tanto con el aumento de la acidez. Se observa en la Figura 6 la acción de esta enzima respecto a los días de

almacenamiento de los frutos antes de su procesamiento y el secado de los frutos de coco en un rango de temperatura entre 20 y 120 °C (Embrapa, 2016).

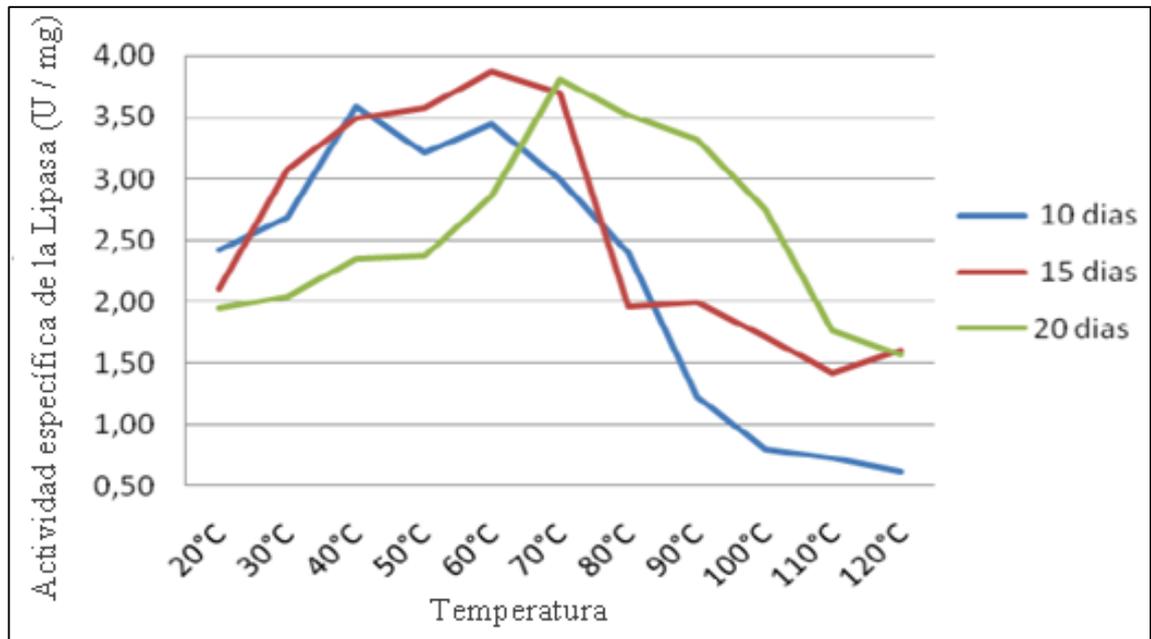


Figura 6. Actividad específica de la lipasa en función a la temperatura de secado y del tiempo de almacenamiento de los frutos. Fuente: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa, 2016).

Otro estudio somete al fruto de coco al proceso de secado a 60 °C, 70 °C y 80 °C, evaluando los parámetros de calidad, tales como la actividad de agua, la actividad enzimática, el color, el contenido de humedad y textura, observan que a 70 °C y 80 °C los resultados obtenidos no presentaron grandes variaciones, aun así 70 °C fue la temperatura de secado elegida como mejores resultados de calidad sobre los parámetros estudiados (Prieto, Iguti, & Nitz, 2011).

La cinética de secado de los frutos de coco, estudiada a velocidades del aire de entrada al secador entre 3,82 m/s, 4,98 m/s y 5,94 m/s presenta resultados deseables en el tratamiento de secado, siendo la tasa de transferencia de calor más alta con la velocidad de aire de entrada más elevada en un menor tiempo de secado (Niamnuy & Devahastin, 2005).

En la primera etapa del estudio realizado por Niamnuy y Devahastin los experimentos fueron desarrollados para comparar las tasas de secado del fruto de coco fresco mediante condiciones de secado constantes a temperatura de aire a 65 °C y velocidad

del aire de entrada de 3,82 m/s (resultando frutos de coco que presentaron coloración ligera y pequeña cantidad de aceite en la superficie) frente a varios pasos de secado bajo las condiciones de 120 °C por 20 min, luego 80 °C por 20 min y finalmente 65 °C por 80 min a una velocidad de aire de entrada de 3,82 m/s como segunda parte experimental; y paso a paso cambio de velocidad de aire de entrada 5,94 m/s por 20 min luego 4,98 m/s por 20 min y finalmente 3,82 m/s durante 80 min a temperatura de 65 °C como tercera etapa experimental. La temperatura de 120 °C fue seleccionada ya que es el máximo valor de secado sin causar coloración marrón y se calcularon las tasas de flujo con el área transversal de la red de apoyo. Durante cada experimento de secado de los frutos fueron muestreadas en intervalos de 10 min y fueron analizados el contenido de humedad, color y cantidad de aceite en su superficie. El color y la cantidad de aceite en la superficie de coco se comparan con las medidas de los productos que fueron aceptados por el consumidor.

2.10 Usos actuales del aceite extraído de la pulpa de coco

Los frutos de coco son muy adecuados para la producción de biodiesel debido a la alta cantidad y calidad del aceite. Sin embargo la explotación comercial de esta especie sigue siendo insuficiente (Barbosa et al., 2016). Se utiliza además en cosméticos, elaboración de jabones y para alimento de animales.

En las industrias alimentarias el aceite extraído de la pulpa de coco podría ser un producto ampliamente explotado si las condiciones de secado controladas mantienen las propiedades del aceite, obteniéndose aceite de alta calidad para consumo humano.

Capítulo 3

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El trabajo experimental se realizó en los laboratorios del área industrial de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción, ubicada en el departamento Central, en la ciudad de San Lorenzo.

3.2 Metodología de la investigación

3.2.1 Enfoque y alcance de la investigación

La investigación es experimental con enfoque cuantitativo y el alcance es de tipo correlacional descriptivo (R. Hernández, Fernández, & Baptista, 2006).

En la primera etapa se realizaron las pruebas pre-experimentales donde se determinaron los parámetros de secado — temperatura y caudal — además se establece el tiempo en el cual se tomarán las muestras para la determinación de las humedades intermedias de secado y en la segunda etapa la fase experimental pura donde se llevan a cabo las corridas de secado bajo las 4 combinaciones posibles de temperatura y caudal de aire a la entrada del secadero con los duplicados correspondientes.

3.2.2 Diseño de la investigación

El diseño factorial es de 2^2 donde se estudió el efecto de los factores que son la temperatura y caudal de aire a la entrada del secadero considerando dos niveles en cada uno de ellos. Cada réplica de este diseño consistió de 4 tratamientos como se muestra en la Tabla 4. A estos niveles se les ha denominado “bajo” y “alto” y se denota “-1” y “1”, respectivamente. Los tratamientos fueron realizados por duplicado, obteniéndose

un total de 8 tratamientos. Se ejecutaron aleatoriamente los ensayos de manera a minimizar los errores sistemáticos.

Tabla 4. Notación del tratamiento del diseño factorial 2².

Tratamiento	Notación Yates	Temperatura (A)	Caudal (B)
T01	(1)	-1	-1
T02	a	1	-1
T03	b	-1	1
T04	ab	1	1

3.3 Materia prima

La materia prima fue la pulpa del fruto de coco *Acrocomia aculeata* y se almacenó el fruto hasta el momento de la experimentación durante un período máximo de 7 días de haber sido recolectada del departamento de Eusebio Ayala. El fruto fue transportado a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción en bolsas de Low Density Polyethylene o LDPE.

3.4 Materiales y equipos

3.4.1 Reactivos y materiales

- Hidróxido de sodio p.a.
- Alcohol etílico 95% (Alcohol Rectificado).
- Fenolftaleína p.a.
- Ftalato ácido de potasio p.a.
- Solución de floroglucina 0,1% en éter. Standard primario.
- Ácido clorhídrico.
- Hexano.
- Agua destilada.
- Materiales de vidriería para las determinaciones analíticas.

3.4.2 Equipos

- Secador (Cole – Parmer).
- Balanza analítica y termogravimétrica (RADWAG).
- Estufa de secado de marca Quimis, modelo Q314M2.
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- Rotavapor de marca Cole-Parmer modelo SB-110 CE.
- Plancha calefactora con agitador magnético.

3.5 Variables

3.5.1 Variables independientes o variables de estudio

- Temperatura del aire de secado: se definieron dos niveles de estudio 75 °C y 120 °C respectivamente, debido a los estudios realizados por Embrapa donde a temperaturas menores a 70 °C obtienen aceite de pulpa con alto grado de ácidos grasos libres y recomiendan el secado a la temperatura de 120 °C. Además se selecciona en base al trabajo realizado por (Prieto et al., 2011) detallado en la sección 3.6.1.5.
- Caudal del aire de secado: se definieron dos niveles de caudales 0,0225 m³/s (velocidad de 3,82 m/s) y 0,0273 m³/s (velocidad de 4,40 m/s), debido a un estudio realizado (Niamnuy & Devahastin, 2005) detallado en la sección 3.6.1.5.

3.5.2 Variables dependientes o de respuesta

- Índice de Acidez: se define como el volumen en mililitros de hidróxido de sodio o de potasio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de cuerpo graso (AOCS Official Method Ca 5a-40:2009).
- Rancidez Oxidativa: La rancidez es el grado de descomposición común de las grasas, el cual se debe al ataque del oxígeno a los centros no saturados y esto se observa cuando los comestibles grasientos adquieren con el tiempo sabor y olor más fuertes, se determinará mediante el Método de Kreiss (NMX-F-222-1975).
- Tiempo de secado: corresponde al tiempo en el cual se logró reducir la humedad de la pulpa de coco a un valor $\leq 9\%$ en la etapa experimental pura.

3.5.3 Variables de Control

- Humedad inicial de la pulpa: se refiere al contenido de humedad en base húmeda permisible para la pulpa de coco, el cual se mantuvo a $47 \pm 8,5\%$ debido a la dificultad de mantener constante la misma y por la época del año en la cual fue llevado a cabo la fase experimental.
- Humedad final de la pulpa: debe ser menor o igual al 9% que permite obtener un alto rendimiento en el proceso de extracción de aceite (Benardi, E., 1981).
- Humedad relativa del aire: el contenido de humedad final de la pulpa de coco está limitada por la humedad de equilibrio y por tanto por la humedad relativa del aire. (Prieto et al., 2011). La humedad final de la pulpa de coco no puede ser inferior a la de equilibrio (Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriot, 2013), por ello la humedad relativa del aire se debe mantener en un rango controlado. La misma se mantuvo a $44 \pm 2\%$.
- Temperatura ambiental: la temperatura fue controlada para proporcionar condiciones de trabajo constantes. Se mantuvo en un rango de $24,5 \pm 2$ °C.
- Cantidad de frutos de coco a utilizar: se mantuvo una cantidad fija de 100 frutos de coco por cada corrida, de los cuales 60 fueron sometidos al pre-tratamiento de secado para realizar los análisis posteriormente y 40 frutos fueron analizados sin haber pasado por el proceso de secado.

3.6 Fase pre experimental y experimental pura

3.6.1 Fase pre experimental

3.6.1.1 Determinación del contenido de materia grasa en la pulpa de coco

Se realizó para determinar el contenido de materia grasa presente en la pulpa de coco, y de esta forma determinar la cantidad de frutos a utilizar por cada tratamiento de secado. El porcentaje de materia grasa se calcula con la ecuación 4, mediante la norma NMX-F-089-S-1978 método soxhlet.

$$\% \text{ materia grasa} = \frac{Pg}{Pm} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

Pg: diferencia entre el peso del vaso vacío y con la materia grasa.

Pm: peso de la muestra.

3.6.1.2 Condiciones de trabajo para el tratamiento de secado

▪ Caudal de aire a la entrada del secadero:

A distintas velocidades del aire de entrada 3,82 m/s, 4,98 m/s y 5,94 m/s se observa la disminución de la humedad en tiempos cortos de secado, obteniéndose buenos resultados en condiciones de trabajo controladas (Niamnuy & Devahastin, 2005). Considerando los valores superior e inferior de velocidad del aire, se establecieron los niveles a ser empleados.

▪ Temperatura de aire a la entrada del secadero:

Para la temperatura se adoptaron los valores de 75 °C y 120 °C debido al estudio (Embrapa) se observa que a temperaturas entre 30 y 70 °C la actividad de la enzima lipasa es alta, la cual actúa liberando ácidos grasos, aumentando así la acidez del aceite obtenido donde a temperaturas mayores de 70 °C decrece rápidamente la actividad de dicha enzima, la temperatura de secado la cual consideran recomendable es a 120 °C.

La diferencia principal del secado del fruto de coco bajo dichos parámetros estudiados por Embrapa y el secado del fruto de coco o Mbokaja radica en que son de diferentes variedades debido a los distintos suelos, climas y diversidad de flora. Siendo por tanto un nuevo campo de investigación.

El secado de la pulpa de coco a 60 °C, 70 °C y 80 °C evaluándose bajo los parámetros de la actividad de agua, la actividad enzimática, color, análisis de contenido de humedad y textura, se observa que el secado a 70 °C es la temperatura donde la calidad se ve menos afectada (Prieto et al., 2011).

3.6.1.3 Establecimiento de la uniformidad de secado

Para lograr la uniformidad de secado se intercambiaron los frutos de coco que se encontraban en la parte inferior del secadero por tanto más expuesto al aire de entrada

con los que se encontraban en la parte superior y por ende menos expuestos cada una hora. El tiempo en el cual fueron intercambiados los frutos se determinó con las corridas de secado que se llevaron a cabo de forma pre-experimental.

3.6.2 Fase experimental pura

3.6.2.1 Secado del fruto de coco

Se realizó el secado de los frutos de coco enteros en el secadero tipo silo donde se midió la humedad inicial de la pulpa de una muestra representativa cuyo valor era alrededor de $47 \pm 8,5\%$ en la balanza termogravimétrica, las humedades intermedias durante el tratamiento de secado fueron medidas cada una hora debido a que un tiempo menor a este no se observaban reducciones significativas de la misma hasta obtener la humedad final $\leq 9\%$ para cada condición distinta de secado; se manipularon las variables de estudio – caudal y temperatura del aire a la entrada del secadero – sometido bajo las cuatro combinaciones posibles de secado con sus respectivos duplicados y se observó la influencia que presentaron sobre las variables de respuesta – índice de acidez, la rancidez oxidativa y el tiempo de secado –.

3.6.2.2 Extracción de aceite de la pulpa de coco

Los frutos de coco que no fueron sometidos al proceso de secado fueron despulpados mediante cuchillos de acero inoxidable y posteriormente se extrajo el aceite de la misma mediante solvente hexano permaneciendo en contacto durante 18 horas bajo condiciones de seguridad, esta mezcla de aceite en hexano denominada micela fue separada mediante destilación en el rotavapor obteniéndose el aceite libre de solvente donde el solvente recuperando se vuelve a utilizar para la extracción.

El aceite extraído fue sometido a los análisis fisicoquímicos tales como índice de acidez y rancidez oxidativa debido a que la determinación del índice de peróxido no fue detectada por no observarse cambios de coloración en el proceso de valoración, por ello se realizó el análisis cualitativo de rancidez oxidativa mediante el método de Kreiss, estos resultados fueron utilizados para la evaluación de los parámetros de calidad del aceite.

Se realizaron los mismos análisis al aceite extraído de la pulpa de coco que fueron sometidos al proceso de secado a fin de comparar los resultados obtenidos antes y después del tratamiento de secado.

3.7 Condiciones de secado

En la Tabla 5 se observa las distintas combinaciones de las variables de estudio donde las mismas fueron realizadas por duplicado.

Tabla 5. Combinaciones de los niveles de los factores de estudio.

Tratamiento	Notación Yates	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)
T01	(1)	75	0,0225
T02	a	120	0,0225
T03	b	75	0,0273
T04	ab	120	0,0273

3.8 Métodos y técnicas analíticas

En la Tabla 6 se muestran los análisis fisicoquímicos que se realizaron al aceite extraído de la pulpa de coco antes y después de la etapa de secado para determinar influencia que las variables de estudio presentan sobre los parámetros de calidad. Se detallan además los valores permitidos para ser considerado aceite de pulpa de coco como aceite de consumo humano.

Tabla 6. Técnicas analíticas para la determinación de los parámetros de calidad y especificaciones de los valores permitidos para los mismos.

Especificación	Valores	Método	Referencia
Humedad	$\leq 9\%$	NMX-F-428-1982. Alimentos. Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza)	Bernadi, E., 1981
Índice de Acidez	4 mg de KOH/g de grasa o aceite	AOAC: Official Method Ca 5a-40. Free Fatty Acids.	CODEX STAN 19/1981
Rancidez Oxidativa	Negativo	NMX-F-222-1975. Determinación de rancidez en aceites y grasas vegetales o animales.	NMX-F-223. Alimentos. Aceite vegetal comestible.

3.9 Tratamiento estadístico de los resultados

Determinadas las variables de respuestas donde las medias muestrales presentan igual varianza, independencia y distribución normal en la población se realizó un análisis de varianza (ANOVA), mediante la utilización del software Minitab 17[®] a fin de determinar el comportamiento que presentan la temperatura y caudal del aire a la entrada del secadero sobre el tiempo de secado y el índice de acidez del aceite de pulpa.

Capítulo 4

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detalla a continuación los resultados obtenidos en la etapa pre-experimental y experimental pura.

4.1 Etapa I: Fase pre experimental

4.1.1 Determinación del contenido de materia grasa de la pulpa y la cantidad de frutos de coco utilizados por cada tratamiento de secado

Se estableció la cantidad de cocos para cada condición de secado, cada fruto de coco pesa $9 \pm 0,5$ gramos de los cuales $4 \pm 0,5$ gramos corresponden a la pulpa. Para la medición de humedad en la balanza termo gravimétrica se utilizó $3,5 \pm 0,5$ gramos de pulpa donde la cantidad de aceite utilizado para la determinación de ácidos grasos libres mediante el método AOCS Ca 5a-40 es de $7,05 \pm 0,5$ gramos y para determinar la rancidez oxidativa mediante el Método de Kreiss (NMX-F-222-1975) es de 7 ml de aceite.

Para establecer el contenido graso que contiene la pulpa de coco se determinó el rendimiento de extracción de aceite mediante la norma NMX-F-089-S-1978 método soxhlet, obteniéndose como resultado lo siguiente:

- El contenido de aceite presente en la pulpa es de 32,47% por fruto de coco. Este resultado se utilizó para determinar la cantidad mínima de frutos necesarios para realizar los análisis fisicoquímicos correspondientes al aceite extraído de la pulpa como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7. Cantidad de frutos de coco utilizado por corrida.

	Cantidad de cocos por unidad	Cantidad de cocos en peso (gramos)
Muestra para extracción de aceite inicial y análisis de humedad inicial	40	400 ± 0,5
Muestra para análisis de humedades intermedias	20	200 ± 0,5
Muestra para la extracción final y análisis de la humedad final	40	400 ± 0,5
Total	100 unidades de coco	1000 gramos

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Determinación de las condiciones de secado

- **Caudal de aire a la entrada del secadero:**

Los caudales seleccionados fueron los valores inferior (3,82 m/s) y superior (5,94 m/s) del secado de los frutos de coco realizado por (Niamnuy & Devahastin, 2005). Debido a que el secadero utilizado en el presente trabajo no tuvo la capacidad suficiente de alcanzar el valor superior de 0,0367 m³/s de aire a la entrada del secadero (velocidad de 5,94 m/s), se operaron los caudales de 0,0225 m³/s (velocidad de 3,82 m/s) y 0,0273 m³/s de aire de secado (velocidad de 4,40 m/s).

- **Temperatura de aire a la entrada del secadero:**

Las temperaturas fueron seleccionadas en base a los estudios realizados por Prieto et al., 2011 y la Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuaria (Embrapa) resultados mencionados en la Conferencia de Coco llevada a cabo en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción en octubre del 2016, los parámetros se secado son detallados en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores seleccionados como parámetros de secado. Diseño factorial de 2².

	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)*
Nivel bajo	75	0,0225
Nivel alto	120	0,0273

*el caudal esta referenciado a Temperatura ambiental.

4.2 Etapa II: Fase experimental pura

4.2.1 Orden de las corridas y parámetros de secado

En la Tabla 9 se muestra el orden estándar y el orden de ejecución de las corridas de secado realizadas, con los parámetros de temperatura y caudal correspondientes.

Tabla 9. Orden de las corridas de secado con los parámetros correspondientes.

Orden estándar	Orden de ejecución	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)
1	1	75	65
2	2	120	65
3	7	75	80
4	5	75	65
5	3	75	80
6	8	120	80
7	6	120	65
8	4	120	80

4.2.2 Valores fijados para las variables de control

En la Tabla 10 se indican los tratamientos de secado con sus duplicados correspondientes y las variables de control establecidas en el trabajo de investigación las cuales son la humedad inicial y final de la pulpa de coco, la humedad relativa y la temperatura ambiental en el área donde fue localizado el equipo de secado durante todo el tratamiento.

Tabla 10. Valores establecidos para las variables de control.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)	Humedad inicial*	Humedad final*	Humedad relativa %	Temperatura ambiental (°C)
T01	75	0,0225	44,33	8,99	44	24,4
T02	75	0,0225	38,60	4,63	45	24,4
T03	120	0,0225	48,02	8,26	46	24
T04	120	0,0225	55,59	9,48	44	23,1
T05	75	0,0273	42,27	7,06	42	25,6
T06	75	0,0273	46,81	9,01	44	26,6
T07	120	0,0273	52,53	6,60	46	24
T08	120	0,0273	50,05	9,99	44	21,8

* La humedad se expresa como g de agua/100 gramos de muestra húmeda.

4.2.3 Resultados obtenidos de los parámetros de calidad del aceite de pulpa

▪ Índice de acidez

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos del índice de acidez realizados al aceite extraído de pulpa de los frutos que no fueron sometidos al tratamiento de secado denominado “Índice de acidez inicial” y al aceite extraído de pulpa de los frutos que fueron sometidos al tratamiento de secado denominado “Índice de acidez final” se indica además la relación del índice de acidez.

Tabla 11. Relación del índice de acidez obtenido para cada tratamiento de secado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)	Índice de acidez inicial	Índice de acidez final	Relación del Índice de acidez*
T01	75	0,0225	0,95	1,35	1,42
T02	75	0,0225	1,33	1,94	1,46
T03	120	0,0225	2,33	2,67	1,15
T04	120	0,0225	2,46	2,81	1,14
T05	75	0,0273	1,91	1,91	1,00
T06	75	0,0273	1,35	1,54	1,14
T07	120	0,0273	0,85	1,13	1,32
T08	120	0,0273	2,34	3,04	1,30

* La relación del índice de acidez se determina mediante la Ec. (4) y se expresan en % de ácido oleico.

La relación del índice de acidez indica que en cuanto el valor este más alejado de la unidad y por encima de esta, la acidez del aceite extraído de la pulpa final (sometida al proceso de secado) sobre la inicial (no sometida al secado) se ve más afectada negativamente bajo esas condiciones de temperatura y caudal de secado. Se observa que a temperatura del aire de 75 °C y caudal de aire de 0,0225 m³/s las relaciones del índice de acidez son las más altas, presentado valores de 1,42 y 1,46 lo que indica que bajo estas condiciones disminuye la calidad del aceite de pulpa y que a temperatura de 75 °C y caudal de aire de 0,0273 m³/s se obtienen las relaciones del índice de acidez más bajas, valores de 1,00 y 1,14 por tanto la calidad del aceite permanece alta.

▪ Rancidez Oxidativa

En la Tabla 12 se indican los resultados obtenidos del análisis cualitativo de rancidez oxidativa realizados al aceite extraído de pulpa de los frutos que no fueron sometidos al tratamiento de secado designado “Rancidez oxidativa inicial” y al aceite extraído de pulpa de los frutos que fueron sometidos al tratamiento de secado designado “Rancidez oxidativa final” con los tratamientos de secado respectivos.

Tabla 12. Rancidez oxidativa del aceite obtenido para cada tratamiento de secado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)	Rancidez oxidativa inicial	Rancidez oxidativa final
T01	75	0,0225	Negativo	Negativo
T02	75	0,0225	Negativo	Negativo
T03	120	0,0225	Negativo	Negativo
T04	120	0,0225	Negativo	Negativo
T05	75	0,0273	Negativo	Negativo
T06	75	0,0273	Negativo	Negativo
T07	120	0,0273	Negativo	Negativo
T08	120	0,0273	Negativo	Negativo

El ensayo de kreiss para rancidez oxidativa es una prueba que se fundamenta en la reacción del aldehído epidrínico presente en las grasas rancias con la solución de floroglucina adicionado a la muestra, en medio ácido, resultando en la formación de un color rosa, violáceo o rojo; se realiza la prueba original sin dilución y dos diluciones, la dilución A consiste en 1 ml de la muestra de aceite más 9 ml de glicerina

líquida y la dilución B consiste en 1 ml de la muestra de aceite más 19 ml de glicerina líquida donde los resultados se interpretan como sigue:

- Si no se observa ninguna coloración indica que no existe rancidez.
- Reacción positiva cuando no hay dilución y negativa en las pruebas A y B indica que no hay rancidez suficiente para producir cambios en el color y el sabor; pero que la grasa presentará pronto estos fenómenos.
- Reacción positiva en la prueba A pero negativa en B indica rancidez incipiente, acompañada de cambios ya perceptibles en el olor y sabor.
- Reacción positiva en la prueba B indica definida rancidez.

Los resultados obtenidos no presentaron coloración en el aceite extraído inicial y final de pulpa, tanto en la prueba sin dilución como en las pruebas A y B diluidas, lo que indica que el aceite no presenta rancidez. Se observa en la Figura 7 cuatro pruebas aleatorias de rancidez oxidativa realizadas al aceite extraído de la pulpa sin tratamiento de secado designado “Inicio” y con tratamiento de secado designado “Final”.

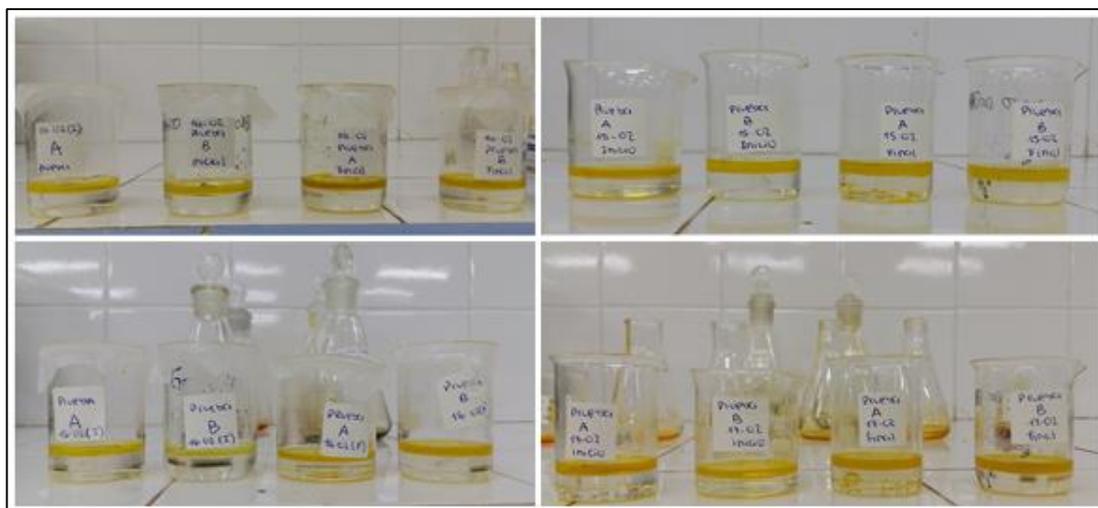


Figura 7. Resultados de las pruebas cualitativas de rancidez oxidativa de cuatro tratamientos aleatorios.

4.3 Análisis de los resultados obtenidos en la etapa experimental

4.3.1 Variable de estudio: Índice de acidez

- **Análisis de varianza**

Se presentan los resultados que las variables de temperatura y caudal a la entrada del secadero presentaron sobre el índice de acidez, mediante el empleo del análisis de

varianza (ANOVA) en el software Minitab 17[®], para ello se hizo uso de la relación del índice de acidez final (aceite extraído de pulpa de los frutos que fueron sometidos al pre-tratamiento de secado) y el índice de acidez inicial (aceite extraído de pulpa de los frutos que no fueron sometidos al pre-tratamiento de secado). En la Tabla 13 se observa el análisis de varianza de los resultados obtenidos en la etapa experimental.

Tabla 13. Análisis de varianza de los resultados referidos al índice de acidez.

Análisis de varianza			
Fuente	Grados de Libertad	Valor – p	Coefficiente de Modelo Ajustado
Modelo	3	0,007	0,055213
Lineal	2	0,106	0,011262
Temperatura	1	0,497	0,001512
Caudal	1	0,05	0,021012
Interacciones Dobles	1	0,002	0,143113
Temperatura*Caudal	1	0,002	0,143113
Error	4		0,002713
Total	7		

Según los resultados obtenidos por el análisis de varianza se observa que el término lineal del caudal de aire a la entrada del secadero y el término de interacción doble entre el caudal y la temperatura presentan significancias debido a que $p\text{-Value} \leq 0,05$ es decir, presentan influencia sobre el índice de acidez, sin embargo la temperatura como variable lineal no presenta significancia sobre el índice de acidez presentando $p\text{-Value} > 0,05$. Estos valores fueron obtenidos con un nivel de significancia del 5%.

Además mediante el análisis de varianza se obtiene el modelo matemático sujeto a los efectos principales y a la interacción doble de los factores, utilizando la técnica de regresión lineal múltiple. Se observa el modelo en la ecuación 5.

$$R = 7,399 - 0,05807 A - 0,0841 B + 0,000793 A * B \quad (5)$$

Donde:

R: Relación del índice de acidez.

A: Temperatura.

B: Caudal.

El coeficiente de determinación R-cuad (R^2) y coeficiente de determinación ajustado R-cuad (ajustado) (R^2_{aj}) miden el porcentaje de variabilidad en los datos experimentales que es explicado por el modelo considerado, estos coeficientes estadísticos son útiles para medir la calidad global del modelo de regresión múltiple, que se obtienen a partir de ANOVA, s representa la desviación estándar de los resultados obtenidos, Figura 8.

Resumen del Modelo		
S	R-cuad	R-cuad (aj)
0,0520817	93,85%	89,24%

Figura 8. Coeficientes de determinación para la relación de acidez.

El modelo obtenido presenta una desviación estándar de 0,0520817 % la cual es una desviación baja, además se obtiene un coeficiente R-cuad (R^2) de 93,85% y R-cuad (ajustado) (R^2_{aj}) de 89,24% esto indican que los factores estudiados – temperatura y caudal del aire – junto con su interacción explican con un alto porcentaje la variabilidad de las respuestas – índice de acidez – siendo bajo el porcentaje no explicado por factores no estudiados. En general, para fines de predicción se recomienda un coeficiente de determinación ajustado de al menos 70% (Gutiérrez & de la Vara, 2008).

▪ Efecto principales y de interacción de los factores en estudio

Mediante el análisis de varianzas iguales (ANOVA) se determinó que de los efectos principales solo presenta significancia el caudal a la entrada del secadero, esto se observa debido a la mayor pendiente que presenta en la Figura 9, la cual indica que a un menor caudal ($0,0225 \text{ m}^3/\text{s}$) la relación del índice de acidez aumenta es decir, el efecto del secado de los frutos a este caudal se ve afectada negativamente aumentando la acidez final y por tanto el detrimento de los parámetros de calidad del aceite extraído, disminuyendo tal efecto a mayor caudal ($0,0273 \text{ m}^3/\text{s}$). Sin embargo la temperatura del aire de secado no presenta significancia apreciable, se puede observar esto debido a la poca pendiente que presenta, por lo que la magnitud del efecto es

menor, aun así se obtiene que a una temperatura menor de 75 °C la relación del índice de acidez es ligeramente mayor que a una temperatura mayor de 120 °C.

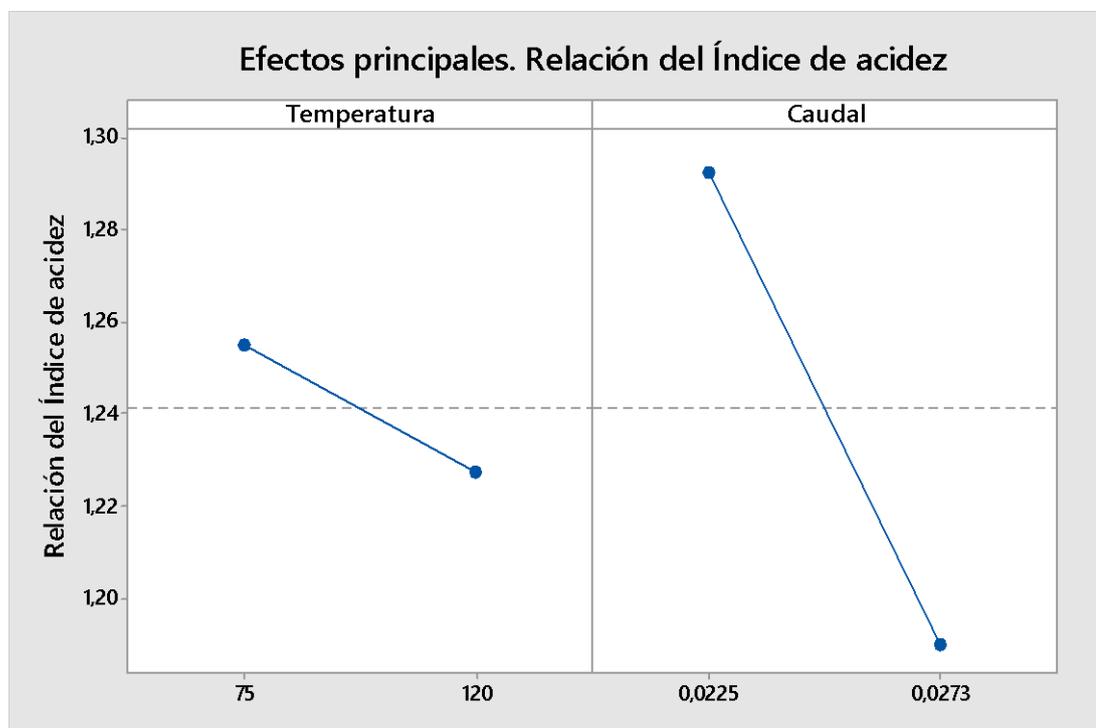


Figura 9. Representación gráfica de los efectos principales sobre la relación del índice de acidez.

Se obtiene además el efecto de la interacción doble de la temperatura y el caudal de aire sobre el índice de acidez, que se puede observar en la Figura 10, la cual indica que a un caudal de 0,0225 m³/s (nivel más bajo) la relación del índice de acidez es mayor con la de temperatura de 75 °C (nivel más bajo), por tanto con el nivel más bajo de caudal y temperatura se observa la mayor relación del índice de acidez y por ende el efecto de secado con estos parámetros operacionales afecta de manera más negativa sobre la acidez, con el detrimento de la calidad del aceite extraído, disminuyendo tal efecto con el aumento de temperatura a 120 °C.

Sin embargo, con el caudal de 0,0273 m³/s (nivel más alto) se observa que a una temperatura de 120 °C (nivel más alto) la variable de estudio se ve afectada más negativamente que a una temperatura de 75 °C. Por tanto se obtiene que con el nivel más alto de caudal (0,0273 m³/s) y el nivel más bajo de temperatura (75 °C) los

parámetros de calidad del aceite extraído de pulpa se ven menos afectadas negativamente.

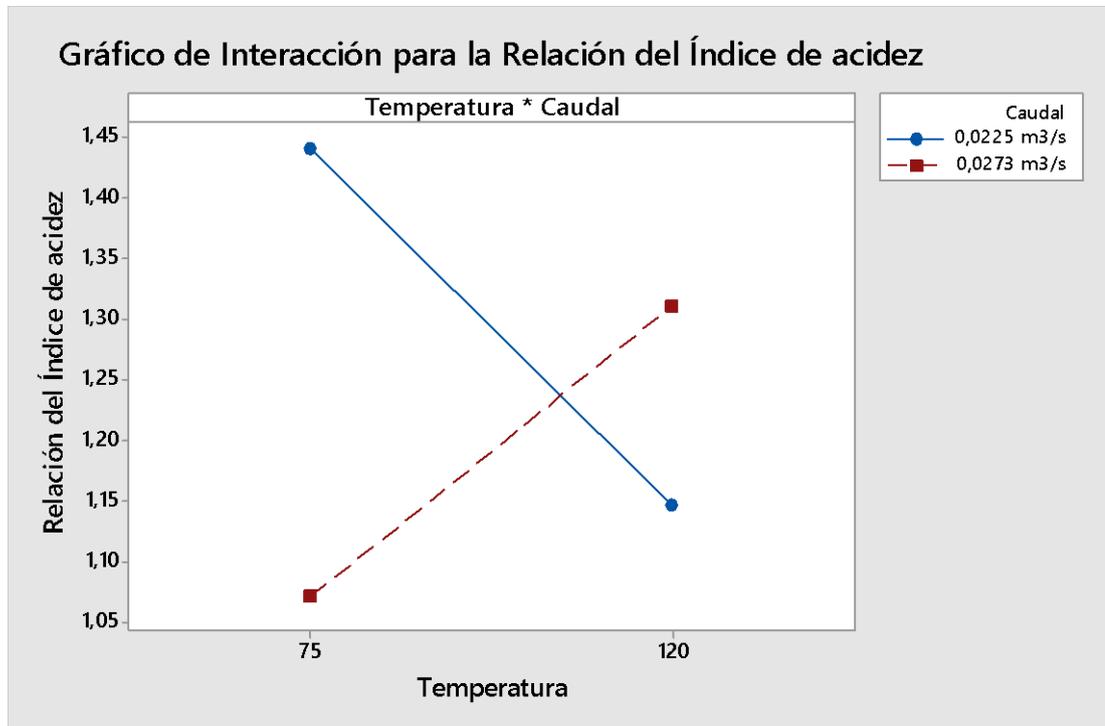


Figura 10. Gráfico de interacción doble sobre la relación del índice de acidez.

▪ Diagrama Pareto

Representa gráficamente el efecto que presentan las variables independientes – temperatura y caudal del aire – sobre la variable de respuesta – índice de acidez – y permite visualizar cual presenta mayor impacto sobre ésta, en la Figura 11 se observa el diagrama Pareto referido a la relación del índice de acidez final e inicial del aceite extraído de pulpa, obtenido mediante el software Minitab 17®.

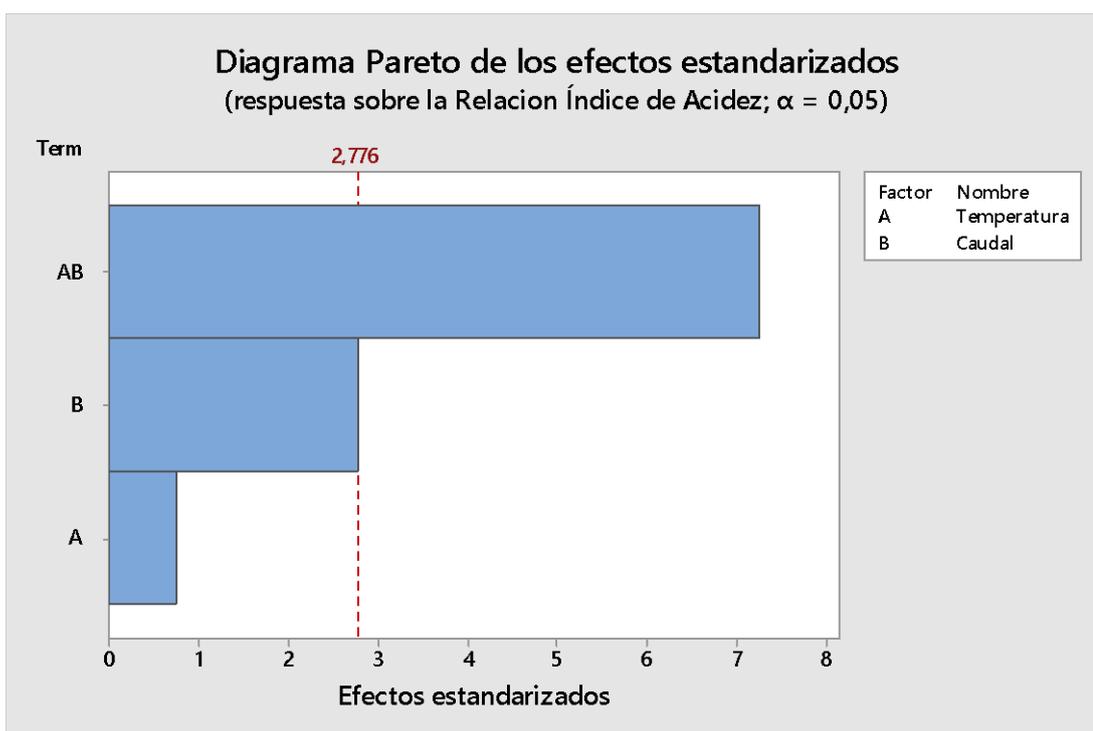


Figura 11. Diagrama Pareto de los efectos estandarizados observados sobre la relación del índice de acidez. Fuente: Minitab 17[®].

4.3.2 Variable de estudio: Tiempo de secado

El tiempo de secado se refiere al tiempo en el cual se logró disminuir la humedad inicial de la pulpa de coco establecida dentro del rango de $47 \pm 8,5\%$ hasta la humedad $\leq 9\%$ para realizar la extracción de aceite de pulpa, se observan estos tiempos de secado con los parámetros operacionales de temperatura y caudal de aire correspondientes en la Tabla 14.

Tabla 14. Tiempo de secado obtenido para cada tratamiento de secado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Caudal (m ³ /s)	Tiempo de secado (hs)
T01	75	0,0225	10
T02	75	0,0225	13
T03	120	0,0225	7
T04	120	0,0225	8
T05	75	0,0273	12
T06	75	0,0273	9,5
T07	120	0,0273	7
T08	120	0,0273	9

▪ **Análisis de varianza**

Se determina la influencia que presentan la temperatura y caudal de aire sobre el tiempo de secado mediante el análisis de varianzas iguales (ANOVA). En la Tabla 15 se observa el análisis de varianza de los resultados obtenidos para el tiempo de secado.

Tabla 15. Análisis de varianza de los resultados del tiempo de secado.

Análisis de varianza			
Fuente	Grados de Libertad	Valor – p	Coefficiente de Modelo Ajustado
Modelo	3	0,151	7,8646
Lineal	2	0,094	11,4063
Temperatura	1	0,040	22,7812
Caudal	1	0,917	0,0313
Interacciones Dobles	1	0,608	0,7812
Temperatura*Caudal	1	0,608	0,7812
Error	4		2,5312
Total	7		

Según los resultados obtenidos por el análisis de varianza se observa que el término lineal de temperatura de aire a la entrada del secadero presenta significancia debido a que p-Value es $< 0,05$ y el efecto del caudal del aire e interacción doble entre el caudal-temperatura no presentan significancia sobre el tiempo de secado donde se obtiene que p-Value $> 0,05$. Estos valores fueron obtenidos con un nivel de significancia del 5%.

Mediante el análisis de varianza se obtiene el modelo matemático que contiene a los efectos principales y a la interacción doble de los factores, utilizando la técnica de regresión lineal múltiple. Se observa el modelo en la ecuación 6.

$$\text{Tiempo} = 31,4 - 0,219 A - 590 B + 5,8 A*B \quad (6)$$

Donde:

A: Temperatura.

B: Caudal.

Se presentan los resultados del coeficiente de determinación R-cuad (R^2) y coeficiente de determinación ajustado R-cuad (ajustado) (R^2_{aj}) para el modelo, obtenidos a partir

de ANOVA que son del 69,97% y 47,45% respectivamente; S representa la desviación estándar de los resultados de valor 1,59099%, se observan en la Figura 12.

Resumen del Modelo		
S	R-cuad	R-cuad (aj)
1,59099	69,97%	47,45%

Figura 12. Coeficientes de determinación para el tiempo de secado.

Los valores bajo de R-cuad (R^2) y R-cuad (ajustado) (R^2_{aj}) indican que el efecto o variabilidad de los factores estudiados – temperatura y caudal de aire – es pequeña en comparación con el resto de la variación observada en el experimento.

▪ **Efecto principales y de interacción de los factores en estudio**

Mediante el análisis de varianzas iguales (ANOVA) se determinó que de los efectos principales solo presenta significancia la temperatura del aire a la entrada del secadero, esto se observa debido a la mayor pendiente que presenta en la Figura 13, la cual indica que a una mayor temperatura de 120 °C el tiempo de secado es menor y viceversa. Sin embargo el caudal de aire a la entrada del secadero no presenta significancia apreciable, se observar esto debido a la poca pendiente que presenta, por lo que la magnitud del efecto es menor, aun así se obtiene que el secado requerido en un menor tiempo a un caudal de aire más elevado.

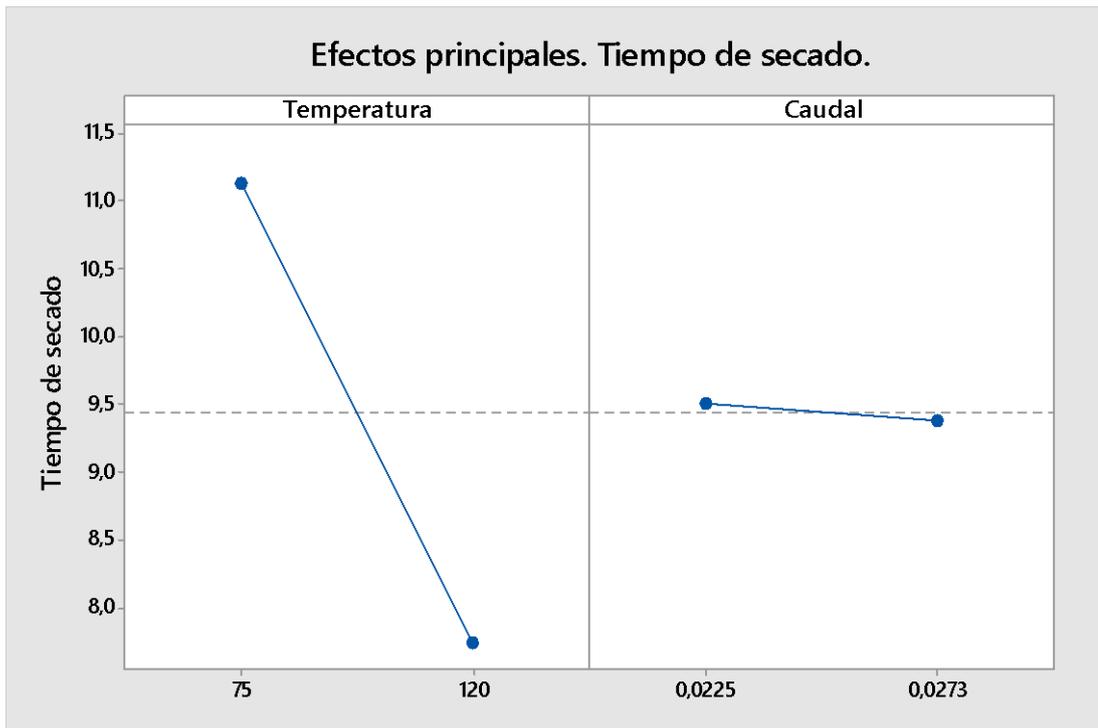


Figura 13. Representación gráfica de los efectos principales sobre el tiempo de secado.

Se obtiene el efecto de la interacción doble de temperatura y caudal de aire sobre el tiempo de secado, que se observa en la Figura 14, donde se indica que a un caudal de $0,0225 \text{ m}^3/\text{s}$ se logra un menor tiempo de secado a una mayor temperatura $120 \text{ }^\circ\text{C}$ y se obtiene mayor tiempo de secado con una temperatura más baja de $75 \text{ }^\circ\text{C}$ con el mismo caudal. Con el caudal de $0,0273 \text{ m}^3/\text{s}$ se observa el mismo comportamiento es decir, a temperatura de $120 \text{ }^\circ\text{C}$ se obtiene un menor tiempo de secado que a temperatura de $75 \text{ }^\circ\text{C}$.

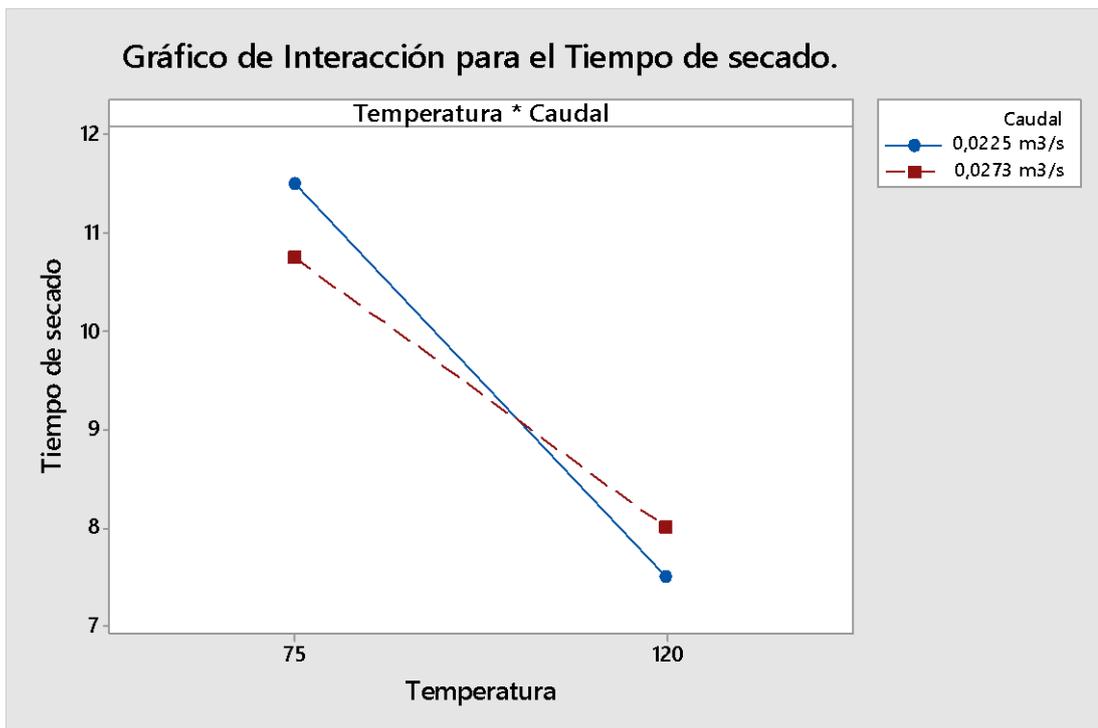


Figura 14. Gráfico de interacción doble sobre el tiempo de secado.

▪ **Diagrama Pareto**

Representa gráficamente el efecto que presentan las variables independientes – temperatura y caudal del aire – sobre la variable de respuesta – tiempo de secado – y permite visualizar cual presenta mayor impacto sobre ésta, en la Figura 15 se observa el diagrama Pareto referido al tiempo de secado de los frutos de coco.

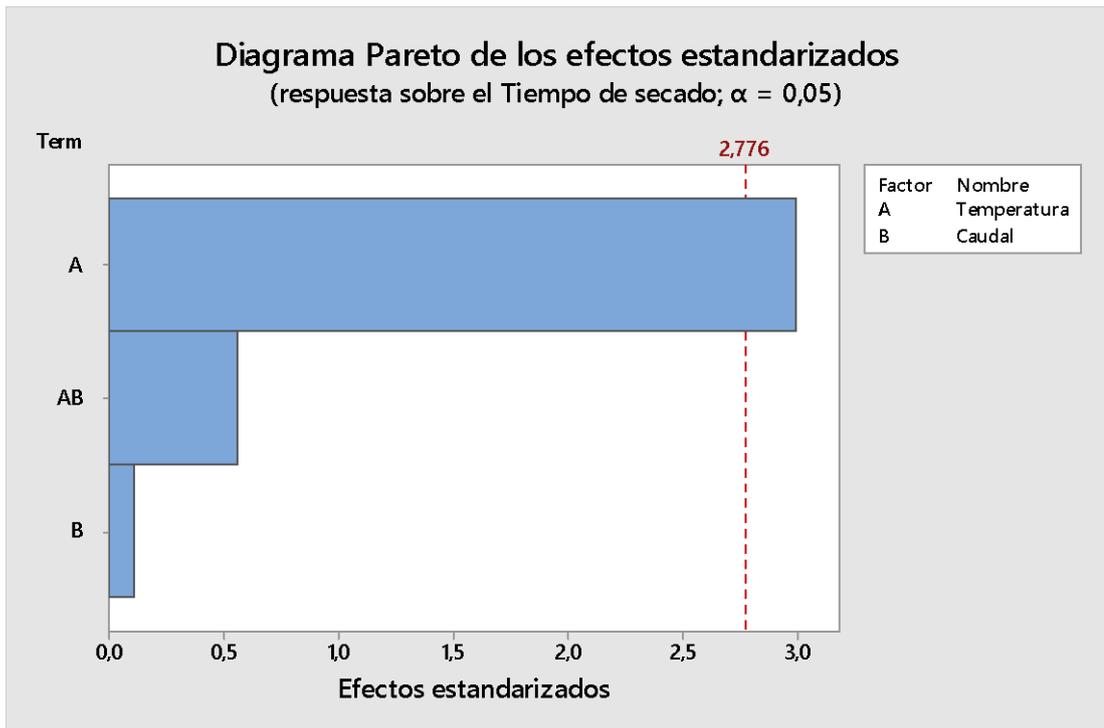


Figura 15. Diagrama Pareto de los efectos estandarizados observados sobre el tiempo de secado.

Capítulo 5

5 CONCLUSIONES

5.1 Conclusión de la etapa experimental

Evaluando los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) mediante la utilización del software Minitab 17[®] sobre el índice de acidez como parámetro de calidad del aceite extraído de pulpa se obtiene con un nivel de confianza del 95% que presentan significancia sobre dicha variable de respuesta el caudal de aire y la interacción doble entre la temperatura del aire y el caudal a la entrada del secadero, no así la temperatura del aire como variable lineal. Los parámetros operacionales de secado no presentan influencia sobre la rancidez oxidativa del aceite, debido a que los resultados obtenidos del método cualitativo fueron negativos.

El efecto de interacción doble muestra que la condición de secado que afecta de manera negativamente a la calidad del aceite extraído de pulpa, índice de acidez, es a un caudal de aire de 0,0225 m³/s a temperatura de 75 °C y la condición a la cual la calidad del aceite obtenido se mantiene alta es a un caudal de aire de 0,0273 m³/s a temperatura de 75 °C por tanto se selecciona esta como la condición de secado de los frutos de coco.

Se obtuvo además que el modelo presentó una desviación estándar de 0,0520817 % la cual es baja, con un coeficiente de determinación R-cuadrado (R^2) de 93,85% y coeficiente de determinación ajustado R-cuadrado (ajustado) (R^2_{aj}) de 89,24% esto indica que los factores estudiados de temperatura y caudal del aire junto con su interacción explican con un alto porcentaje la variabilidad sobre el índice de acidez siendo bajo el porcentaje no explicado por factores no estudiados.

El análisis de varianza (ANOVA) obtenidos sobre el tiempo de secado bajo los distintos parámetros operacionales de temperatura y caudal de aire, se obtiene con un nivel de confianza del 95% observa que presenta significancia la temperatura del aire sobre el tiempo de secado, no así la variable lineal del caudal de aire a la entrada del secadero y la interacción doble entre la temperatura y caudal de aire.

El efecto de interacción doble indica que a un caudal de aire de $0,0225 \text{ m}^3/\text{s}$ a temperatura de $120 \text{ }^\circ\text{C}$ se obtiene menor tiempo de secado de los frutos de coco y bajo las condiciones de secado de caudal de $0,0225 \text{ m}^3/\text{s}$ a temperatura de $75 \text{ }^\circ\text{C}$ el tiempo de secado es mayor.

Se obtuvo además que el modelo presentó una desviación estándar de $1,59099 \%$ la cual es baja, con un coeficiente de determinación R-cuad (R^2) de $69,97\%$ y coeficiente de determinación ajustado R-cuad (ajustado) (R^2_{aj}) de $47,45\%$ esto indica que los factores estudiados de temperatura y caudal del aire junto con su interacción explican con un bajo porcentaje la variabilidad sobre el tiempo de secado siendo alto el porcentaje no explicado por factores no estudiados. Por lo que el modelo no presenta utilidad para fines de predicción.

Referente a los parámetros de calidad del aceite extraído de pulpa bajo las diferentes combinaciones de temperatura y caudal de aire seleccionados, los resultados obtenidos se encontraron dentro del rango establecido por el CODEX STAN 19/1981 referido al índice de acidez del aceite y la Norma NMX-F-223 Alimentos. Aceite vegetal comestible referida a la rancidez oxidativa del aceite, por lo que el aceite obtenido es considerado de grado alimenticio.

5.2 Recomendaciones para futuros trabajos

- Evaluar la influencia bajo otros niveles de temperatura de aire y caudal de aire sobre la calidad del aceite extraído de pulpa.
- Determinar las condiciones óptimas de secado aplicando la metodología de superficie de respuesta realizando más tratamientos de secado.
- Proponer un diseño de secadero tipo silo a nivel industrial en el cual se logre la uniformidad de secado de los frutos de coco.

ANEXOS

ANEXO A

A.1 Método de cosecha de los frutos de coco

El tiempo que pasa desde la caída del fruto de coco hasta su recolección afecta a la calidad de los mismos, pues éstos en contacto con la superficie del suelo generan pérdidas en las propiedades fisicoquímicas del aceite, el deterioro se intensifica a partir del séptimo día, en cuyo caso los frutos no toleran el almacenamiento y deben ser procesados inmediatamente después de retirados del campo (Barbosa et al., 2016).

Para evitar el susodicho deterioro los frutos fueron recolectados mediante telas de media sombra a un medio metro de distancia del suelo, evitando así cualquier contaminación microbiana a causa del contacto de los mismos con el suelo. Los frutos de coco recolectados bajo estas las prácticas fueron utilizados hasta un periodo máximo de 7 días, pasado este tiempo serán descartados.

A.2 Limpieza y almacenamiento de los frutos

Se realizó una inspección visual, eliminando todos aquellos frutos que se encontraban dañados, con alteración de color o alguna evidencia de contaminación microbiana. Los frutos enteros fueron rociados con alcohol a 70°GL para la desinfección de los mismos y almacenados bajo condiciones controladas de temperatura de $24,5 \pm 2$ °C y humedad relativa de $44 \pm 2\%$ dentro del laboratorio evitando la exposición a condiciones adversas.

ANEXO B

B.1 Análisis de Residuo: Índice de acidez

El residuo se define como la diferencia del valor observado en cierto tratamiento y la respuesta predicha por el modelo para tal tratamiento, permite evaluar varios aspectos de la calidad del modelo que se proponen para los datos, debido a que con valores más pequeños de los residuos el modelo describirá de mejor manera el comportamiento de la respuesta (Gutiérrez & de la Vara, 2008).

Se realiza el análisis de residuo a fin de confirmar la adecuación del modelo de regresión donde los supuestos del modelo se deben cumplir, si estos no se cumplen el modelo utilizado arrojará resultados erróneos y por tanto no tendrán validez. Estos supuestos implican: una distribución normal de los resultados, varianza constante e independencia.

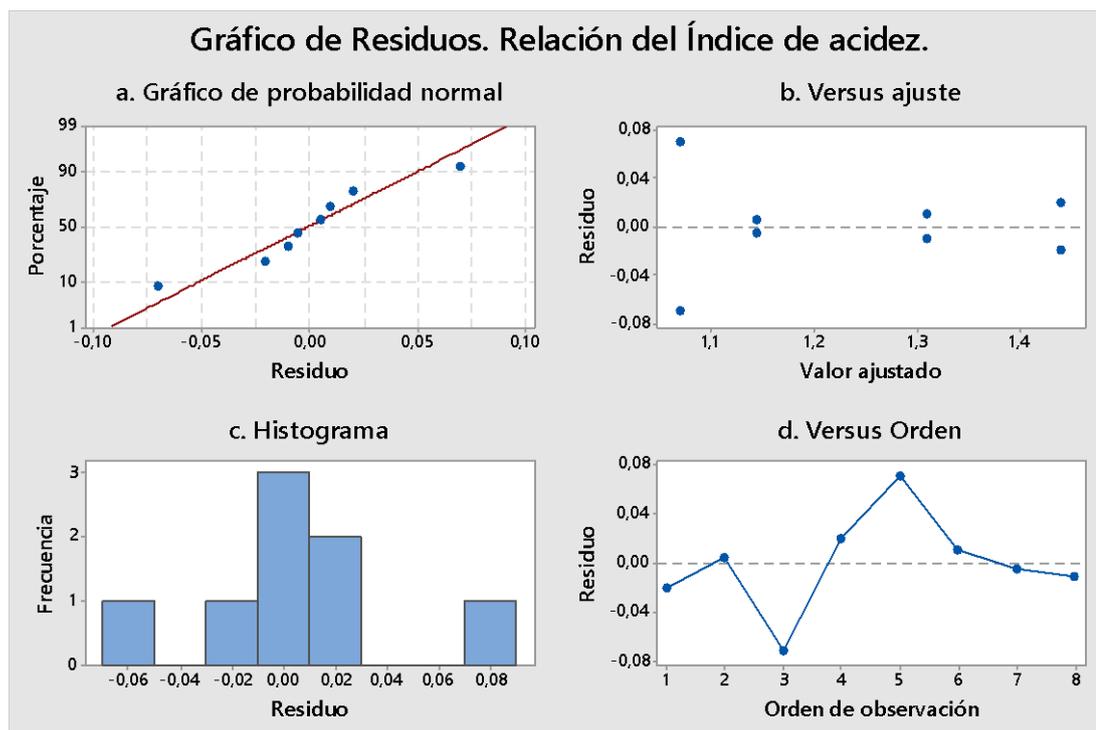


Figura 16. Verificación del ajuste del modelo para el índice de acidez.

Se observa en la Figura 16 los gráficos residuales para el modelo de regresión. Donde el supuesto de normalidad se verifica en el gráfico de probabilidad normal (Figura 7.a) y el gráfico de histograma de residuales (Figura 7.c) cuyos valores siguen una

distribución normal debido a que se encuentran cercanos a la recta y no se obtienen valores muy lejanos a la misma, además se obtiene una media próxima a cero; el supuesto de varianzas constante se verifica en la gráfica residuos en función al valor ajustado (Figura 7.b) la cual presenta varianzas constante debido a que los valores no adquieren una estructura ni tendencia obvia y por último el supuesto de independencia de los errores se analiza mediante el gráfico de los residuos en función al orden de recolección de los datos (Figura 7.d) en el cual no se detectan tendencias evidentes por lo que cumple con el supuesto de independencia. Para verificar numéricamente el supuesto de varianzas iguales se realiza un test de igualdad de varianzas, como se indica en la Figura 17:

Método
Hipótesis nula: Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alternativa: Al menos una de varianzas es diferente
Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Figura 17. Método de verificación de varianzas iguales observados sobre la relación del índice de acidez.

Esto indica que para aceptar la hipótesis nula y por tanto que el supuesto de varianzas iguales se cumpla, el valor p-Value debe ser mayor a 0,05 rechazando la hipótesis alternativa. El resultado de p-Value es de 0,085 por lo que se verifica que las varianzas son iguales.

También así se realiza el test de normalidad para verificar numéricamente el cumplimiento del supuesto de distribución normal, como se indica en la Figura 18:

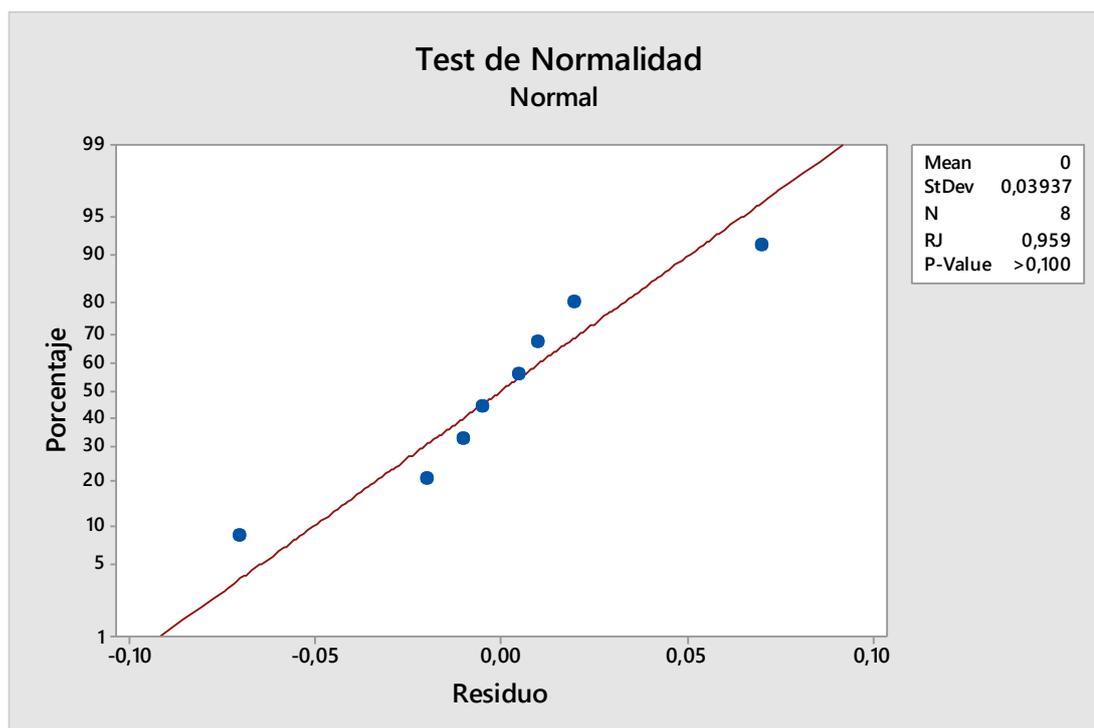


Figura 18. Método de verificación de distribución normal observado sobre la relación del índice de acidez.

Como se observa que el valor de p-Value $> 0,05$ se verifica el cumplimiento de distribución normal. Por lo tanto, se satisfacen todos los supuestos para el análisis de varianza (ANOVA) y el modelo para el Índice de acidez puede considerarse válido.

B.2 Análisis de Residuos: Tiempo de secado

Se realiza el análisis de residuo a fin de confirmar la adecuación del modelo de regresión donde los supuestos del modelo a cumplir implican: distribución normal de los resultados, varianza constante e independencia.

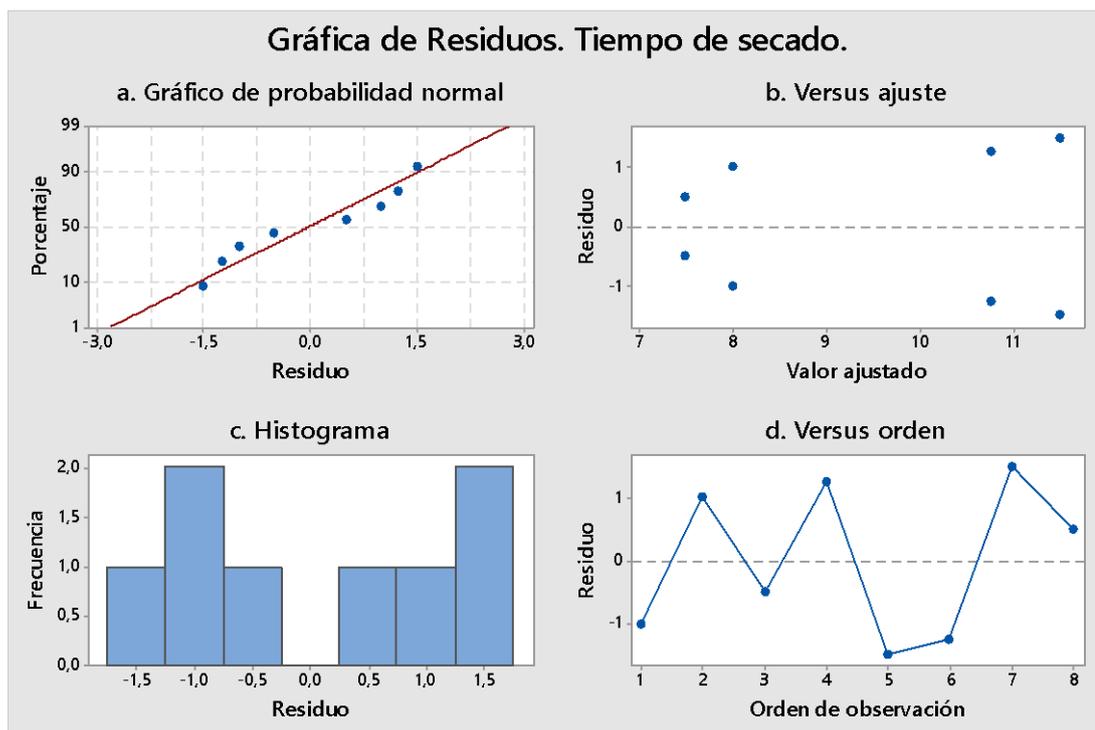


Figura 19. Verificación del ajuste del modelo para el tiempo de secado.

Se observa en la Figura 19 los gráficos residuales para el modelo de regresión. Donde el supuesto de normalidad se verifica en el gráfico de probabilidad normal (Figura 7.a) cuyos valores siguen una distribución normal y el gráfico de histograma de residuales (Figura 7.c) presenta valores que parecieran no seguir una distribución normal pero mediante el test de normalidad se verificará el cumplimiento del mismo; el supuesto de varianza constante se verifica en la gráfica residuos en función al valor ajustado (Figura 7.b) la cual presenta varianza constante debido a que los valores no adquieren una estructura ni tendencia obvia y por último el supuesto de independencia de los errores se analiza mediante el gráfico de los residuos en función al orden de recolección de los datos (Figura 7.d) en el cual no se detectan tendencias evidentes por lo que cumple con el supuesto de independencia.

Para verificar numéricamente el supuesto de varianzas iguales se realiza un test de igualdad de varianzas, como se indica en la Figura 20:

Método	
Hipótesis nula:	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alternativa:	Al menos una de varianza es diferente
Nivel de significancia α	= 0,05

Figura 20. Método de verificación de varianzas iguales observadas sobre el tiempo de secado.

El resultado de p-Value es de 0,705 por lo que se acepta la hipótesis nula, que incida que las varianzas son iguales y por tanto se verifica el cumplimiento del supuesto.

También así se realiza el test de normalidad para verificar numéricamente el cumplimiento del supuesto de distribución normal, como se indica en la Figura 21:

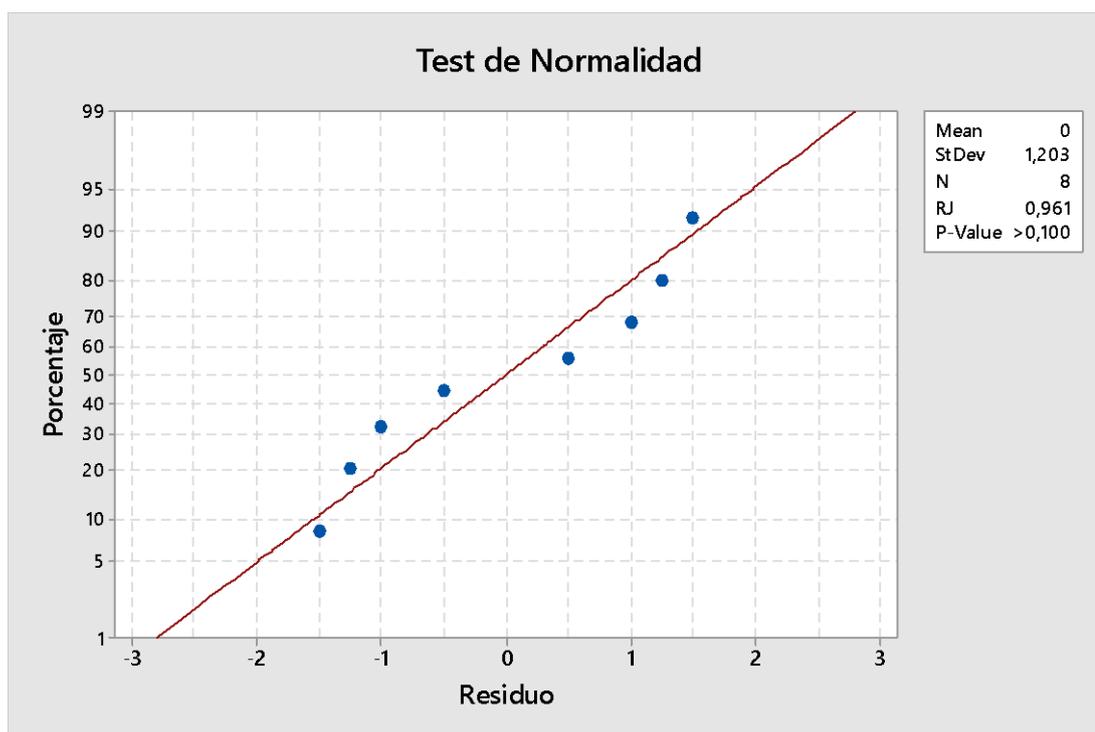


Figura 21. Método de verificación de distribución normalidad observado sobre el tiempo de secado.

Como se observa que el valor de p-Value $> 0,05$ se verifica el cumplimiento de distribución normal. Por lo tanto, se satisfacen todos los supuestos para el análisis de varianza (ANOVA) y el modelo para el tiempo de secado puede considerarse válido.

ANEXO C

C.1 Descripción del equipo de secado

El secadero es de diseño simple, compacto, convenientemente portable y fácil de operar, el único requisito es que necesita de una fuente como red de alimentación. La fuente debe estar al alcance del instrumento para que no haya cables de extensión requeridos.

El instrumento está constituido del sistema de distribución de aire, calefactor, termostato y controles eléctricos. Puede ser utilizado como unidad sola de soporte o funcionar bajo control por ordenador. El calefactor se encuentra a la entrada del secadero por lo que el caudal de aire esta referenciado a la Temperatura ambiental, se observa el equipo de secado en la Figura 22.



Figura 22. Equipo de secado.

La humedad externa que posee la muestra es la humedad que será eliminada inicialmente a una velocidad controlada por el caudal y la temperatura de secado, después de esto se elimina la humedad interna, donde la tasa de remoción es generalmente limitada por la difusión de agua desde el interior de la partícula a la superficie y menos influenciada por los parámetros de secado del proceso (Manual del Equipo de secado Sherwood).

ANEXO D

NMX-F-222-1975. DETERMINACIÓN DE RANCIDEZ EN ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES. DETERMINATION OF RANKNESS ON OILS AND VEGETABLE GREASES. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

1. ALCANCE

Esta Norma establece el procedimiento para la determinación de rancidez (Método de Kreiss), en aceites y grasas vegetales.

2. DEFINICIONES.

RANCIDEZ

La rancidez es el grado de descomposición común de las grasas, el cual se debe al ataque del oxígeno a los centros no saturados y esto se observa cuando los comestibles grasientos adquieren con el tiempo sabor y olor más fuertes.

3. APARATOS Y EQUIPO

- Equipo común de laboratorio.

4. MATERIALES Y REACTTIVOS

Las sustancias y soluciones que a continuación se mencionan deben ser grado analítico, a menos que se indique otra cosa. Cuando se especifique el uso de agua, debe entenderse agua destilada.

- Ácido clorhídrico concentrado.
- Solución Floroglucinol al 0.1% en éter.

5. PROCEDIMIENTO

En una probeta de 50 - 100 ml perfectamente limpia y seca, se vierten con una pipeta 10 ml de la muestra, se agregar 10 ml de ácido clorhídrico concentrado y se tapa con tapón de goma, agitar vigorosa mente por espacio de 30 segundos, adicionando a la mezcla 10 ml de solución de Floroglucinol al 0.1% en éter, tápese para evitar alguna posible proyección y agitar enérgicamente. Posteriormente dejar en reposo y observar el color; la formación de un color rojo intenso en el producto de condensación, indica la rancidez de la muestra.

6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Al observar el color, si la grasa es rancia, la capa de ácido adquiere un color rojo o rosado.

7.1 OBSERVACIONES

Las precauciones siguientes pueden evitar el ranciamiento en los aceites.

- 7.1.1. Refinación y deodorización cuidadosa especialmente por un vacío más alto que el normal.
- 7.1.2. Empleo de aparatos construidos con metales no corrosivos tales como el níquel o el acero inoxidable.
- 7.1.3. Evitar el contacto con cobre o metales cúpricos
- 7.1.4. Utilización de vestigios de secuestrantes metálicos tales como: el sorbital y el ácido fítico y otros secuestrantes no tóxicos en la etapa de deodorización del aceite, los vestigios de metales disueltos promueven la iniciación de esta reacción de inversión de sabor.

7.2. BIBLIOGRAFÍA

HG Kirschnbauer Aceites y Grasas; R Lees Manual de Análisis de Alimentos; Enciclopedia Salvat de la Ciencia y Tecnología Vol.13.

7.3. PARTICIPANTES:

Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Dirección de Control de Alimentos, Bebidas y Medicamentos

Hacienda y Crédito Público

Laboratorio Central de la Secretaría

Distribuidora CONASUPO,S.A. de C.V.

Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles.

Aceite Casa, S.A.

Aceites el Faro.

Aceitera la Gloria.

Aceites la Central.

Aceites la Rosa.

Aceitera la Palma, S.A.

Aceites Grasas y Derivados.

NMX-F-089-S-1978. DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO (MÉTODO SOXHLET) EN ALIMENTOS. FOODSTUFF-DETERMINATION OF ETHER EXTRACT (SOXHLET). NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma participaron los siguientes Organismos:

Cámara de Productos Alimenticios Elaborados con Leche.

Productos Pesqueros Mexicanos.

Empacadora Brener, S.A.

Diconsa.

Secretaría de Salubridad y Asistencia

Dirección General de Control de Alimentos, Bebidas y Medicamentos
Laboratorio Nacional de Salubridad Instituto Nacional del Consumidor.

Laboratorio Central de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Elías Pando, S.A.

0. INTRODUCCIÓN

El método Soxhlet utiliza un sistema de extracción cíclica de los componentes solubles en éter que se encuentran en el alimento.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Mexicana establece el procedimiento para la determinación de ácidos grasos (extracto etéreo) por el método de Soxhlet en todos los alimentos sólidos, excepto los productos lácteos.

2. REACTIVOS Y MATERIALES

- Eter etílico anhidro (véase A.1.1).
- Material común de laboratorio.

3. APARATOS E INSTRUMENTOS

- Extractor Soxhlet.
- Cartucho de extracción de tamaño adecuado para el extractor (véase A.1.2)
- Parrilla eléctrica de placa con termostato.
- Estufa (100 – 110°C) con termostato y termómetro.
- Balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.

4. PROCEDIMIENTO

Transferir 2.0 g de muestra finamente dividida en el cartucho o dedal; cubrir con una porción de algodón.

Colocar el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior ajustar un matraz con cuerpos de ebullición (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100 – 110°C). Colocar el refrigerante.

Añadir éter por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener 2 ó 3 descargas del extractor (alrededor de 80 ml).

Hacer circular el agua por el refrigerante y calentar hasta que se obtenga una frecuencia de unas 2 gotas por segundo.

Efectuar la extracción durante 4 a 6 horas. Suspender el calentamiento, quitar el extractor del matraz y dejar caer una gota de éter del extractor a un papel o vidrio de reloj, si al evaporarse el éter se observa una mancha de grasa, ajustar el Soxhlet de nuevo al matraz y continuar la extracción.

Evaporar suavemente el éter del matraz y secar a 100°C hasta peso constante.

5. CÁLCULOS

$$\text{Porcentaje de Extracto Etéreo} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

Donde:

P = Masa en gramos del matraz con grasa.
p = Masa en gramos del matraz sin grasa.

M = Masa en gramos de la muestra.

A.1 Observaciones

A.1.1 Precaución: El éter es extremadamente inflamable. Se pueden formar peróxidos inestables cuando se almacenan mucho tiempo o se expone a la luz del sol.

Puede reaccionar con explosión cuando está en contacto con el óxido de cloro, litio o con agentes fuertemente oxidantes. Por ello es recomendable el empleo de extractores efectivos de vapores y evitar la electricidad estática.

A.1.2 Se puede emplear papel filtro en lugar del cartucho de extracción.

6. REPORTE DE PRUEBA

En el reporte de esta determinación se debe indicar el tiempo de extracción.

7. BIBLIOGRAFÍA

Técnicas para el análisis fisicoquímico de alimentos de la Dirección General de Investigación en Salud Pública y de la Dirección General de Control de Alimentos, Bebidas y medicamentos de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Fecha de aprobación y publicación: Noviembre 03, 1978. Esta Norma cancela a la: NMX-F-089-1964.

NMX-F-428-1982. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (MÉTODO RÁPIDO DE LA TERMOBALANZA). FOODS. DETERMINATION OF MOISTURE (THERMOBALANCE RAPID METHOD). NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma participaron los siguientes Organismos:

Gerber Products de México, S. A de C.V. Cámara Nacional de la Industria de Transformación
Departamento de Normas.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Mexicana establece el método de prueba para determinar la humedad en trigo, harinas, pastas, frutas secas y alimentos en forma de puré (Método rápido de la termobalanza).

2. FUNDAMENTO

La humedad es tomada como la pérdida de peso al secado, usando un instrumento de humedad, el cual emplea una balanza de torsión sensible para pasar la muestra y una lámpara infrarroja para secar.

3. APARATOS Y EQUIPO

- Balanza de determinación de humedad equipada con una lámpara infrarroja de 250 W.
- Fuente de potencia tipo 120 V, C.A.
- Amperímetro de 120 V, C.A. ó 2000 mA.
- Platos de aluminio.

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Soltar el sujetador del plato para muestra, revisándolo para asegurarse de que el plato corre libremente sobre su soporte finamente punteado, y que esté limpio y seco.

4.2 Ajustar al 0 y 100 %.

- 4.3 Determinar 5 g de la muestra pesada en la misma balanza y distribuirla cuidadosamente y uniformemente en el platillo.
- 4.4 Con la fuente de potencia debidamente ajustada, bajar la tapa de la balanza. La muestra comenzará a perder humedad y la manecilla se moverá hacia arriba. Después de pasado un tiempo de 10 a 20 minutos, deberá tomarse la lectura, y si ésta permanece estable durante 2 minutos se registrará como porcentaje total de humedad.

5. REPETIBILIDAD

La diferencia entre los valores extremos de una serie de determinaciones efectuadas a unas mismas muestras por un mismo analista, no debe ser mayor de 0.5 % del valor promedio de todas las determinaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

Método de prueba de Gerber Products, S.A.

Fecha de aprobación y publicación: Octubre 7, 1982.



AOCS Official Method Ca 5a-40
Reapproved 2009

Free Fatty Acids

DEFINITION

This method determines the free fatty acids existing in the sample.

SCOPE

Applicable to all crude and refined vegetable oils, marine oils and animal fats.

APPARATUS

1. Oil sample bottles—115 or 230 mL (4 or 8 oz), or 250 mL Erlenmeyer flasks.

REAGENTS

1. Ethyl alcohol, 95%—USSD formulas 30 and 3A are permitted (see Notes, 1). The alcohol must give a definite, distinct and sharp end point with phenolphthalein and must be neutralized with alkali to a faint, but permanent pink color just before using.
2. Phenolphthalein indicator solution—1% in 95% alcohol.
3. Sodium hydroxide solution—accurately standardized. See AOCS Specification H 12-52. See Table 1 for the appropriate normality of the sodium hydroxide solution, depending on the expected free fatty acid concentration range in the sample.

PROCEDURE

1. Test samples must be well mixed and entirely liquid before weighing; however, do not heat the sample more than 10°C over the melting point.
2. Use Table 1 to determine the test portion weight for various ranges of fatty acids. Weigh the designated sample size into an oil sample bottle or Erlenmeyer flask (see Notes, 2).
3. Add the specified amount of hot neutralized alcohol and 2 mL of indicator.
4. Titrate with standard sodium hydroxide, shaking vigorously until the appearance of the first permanent pink color of the same intensity as that of the neutralized alcohol before the addition of the sample. The color must persist for 30 seconds.

CALCULATIONS

1. The percentage of free fatty acids in most types of fats and oils is calculated as oleic acid, although in coconut and palm kernel oils it is frequently expressed as lauric acid and in palm oil in terms of palmitic acid.

$$(a) \text{ Free fatty acids as oleic, \%} = \frac{\text{mL of alkali} \times M \times 28.2}{\text{mass, g of test portion}}$$

$$(b) \text{ Free fatty acids as lauric, \%} = \frac{\text{mL of alkali} \times M \times 20.0}{\text{mass, g of test portion}}$$

$$(c) \text{ Free fatty acids as palmitic, \%} = \frac{\text{mL of alkali} \times M \times 25.6}{\text{mass, g of test portion}}$$

2. The free fatty acids are frequently expressed in terms of acid value instead of percentage free fatty acids. The acid value is defined as the number of milligrams of KOH necessary to neutralize 1 g of sample. To convert percentage free fatty acids (as oleic) to acid value, multiply the percentage free fatty acids by 1.99.

PRECISION

Precision data for refined, bleached and deodorized oils are shown in Table 2. Precision data for crude oils are shown in Table 3.

NOTES

1. Isopropanol, 99%, may be used as an alternate solvent with crude and refined vegetable oils.
2. Cap bottle and shake vigorously for 1 min if oil has been blanketed with carbon dioxide gas.

REFERENCES

See *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 59:658 (1976) regarding the ruggedness of this method.

Table 1
Free fatty acid range, alcohol volume and strength of alkali^a

FFA range (%)	Test portion (g)	Alcohol (mL)	Strength of alkali
0.00 to 0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1 M
0.2 to 1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1 M
1.0 to 30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25 M
30.0 to 50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 or 1.0 M
50.0 to 100	3.525 ± 0.001	100	1.0 M

^aFFA, free fatty acid; N, normality.

Table 2
The average, expected between-laboratory variation (standard deviation of reproducibility, S_R) for the determination of free fatty acids in refined, bleached and deodorized oils^a

Approximate FFA value (%)	0–0.05	0.05–0.1	0.1–1.0	1.0–2.0
SR	0.007	0.010	0.046	0.073
RSD (CV, %)	33.93	12.73	9.90	4.75
R (95%) = 2.8 × S_R	0.02	0.03	0.13	0.20

^aValues obtained from the AOCS Laboratory Proficiency Program.

Table 3
The average, expected between-laboratory variation (standard deviation of reproducibility, S_R) for the determination of free fatty acids in crude oils^a

Approximate FFA value (%)	0.1–1.0	1.0–2.0
SR	0.077	0.156
RSD (CV, %)	14.57	9.84
R (95%) = 2.8 × S_R	0.22	0.44

^aValues obtained from the AOCS Laboratory Proficiency Program.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Céspedes, G; Weber, E; González, G. 2008. Especies útiles de la flora paraguaya “Frutos Comestibles”. Primera Edición. Paraguay: Asociación Etnobotánica. 54p.
- Hoyos, J.; Braun, A. (2001). Palmas en Venezuela. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, Caracas.
- Benardi, E. (1981). *Tecnología de aceites y grasas*. (1ª.ed.) España: Alambra.
- K. Kundu, A. Datta, P. Chatterjee. *Drying of oilseeds*. 2001
- Ramos, M. I. L., Ramos Filho, M. M., Hiane, P. A., Braga Neto, J. A., Siqueira, E. M. D., Nutritional quality of the pulp of bocaiuva [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd]. *Cienc.Tecnol. Aliment.* 2008, 28, 90–94.
- Arias, C., Valiente, O., Corrales, M., Rosthoj, S., & Castellani, P. (1982). Gendai nihon no posuta. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 4(2), 07–13. Retrieved
- Arvelález, A., Mieres, A., & Enrique, C. (2013). Experimental design applied to the oil extraction of the corozo 's kernel (*Acrocomia aculeata*) Diseño experimental aplicado a la extracción de aceite de la almendra del corozo (*Acrocomia aculeata*), 36, 29–39.
- Barbosa, A., Antonio, J., Grossi, S., Duarte, L., Melo, S. De, Daniel, A., ... Motoike, S. (2016). Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. *Industrial Crops & Products*, 85, 63–73. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.052>
- Barrera-arellano, P. D. (1998). Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas, 49, 55–63.
- Del Río, J. C., Evaristo, A. B., Marques, G., Martín-Ramos, P., Martín-Gil, J., & Gutiérrez, A. (2016). Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. *Industrial Crops and Products*, 84, 294–304. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.018>
- Favaro, S. P. (n.d.). (2016) Conferencia Internacional del Coco. Empresa Brasileira

Pesquisa Agropecuaria (Embrapa).

- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseños de experimentos*. (R. del Bosque, Ed.) (Segunda ed). Mexico: Interamericana, McGraw-Hill.
- Hernández, C., Mieres, A., & Niño, Z. (2007). Efecto de la Refinación Física Sobre el Aceite de la Almendra del Corozo (*Acrocomia aculeata*) Effect of Physical Refining on the Oil of the Corozo ' s Kernel (*Acrocomia aculeata*), *18*, 59–68.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación* (Quinta edi). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Lorenzi, G., & Negrelle, R. (2006). Gisele maria amim caldas lorenzi.
- Manrique, G. D. (n.d.). Caracterización de grasas y aceites. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES- Facultad de Ingeniería*, 1–18.
- Niamnuy, C., & Devahastin, S. (2005). Drying kinetics and quality of coconut dried in a fluidized bed dryer, *66*(March 2004), 267–271.
<http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.017>
- Nunes, A. A., Favaro, S. P., Galvani, F., & Miranda, C. H. B. (2015). Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil, 1–8.
<http://doi.org/10.1002/ejlt.201400577>
- Pimenta, T. V, Andrade, M. H. C., Federal, U., & Gerais, D. M. (2012). Extração, Neutralização e Caracterização dos óleos do fruto da Macaúba (*Acrocomia Aculeata*). *XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química 2012*, 4031–4040.
<http://doi.org/ISSN 2178-3659>
- Prieto, W. H., Iguti, A. M., & Nitz, M. (2011). Procedia Food Science Drying evaluation of green coconut pulp for obtaining a snack-like product, (Icef 11).
<http://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.239>
- Selva, D., Rojas, S. De, & Sci, M. (1966). Mbokajá o cocotero como fuente de alimentación animal, 1–7.

- Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriot, R. H. C. (2013). Operaciones unitarias en ingeniería química. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Villachica, H. 1996. Frutas y Hortalizas promisorios del Amazonas. Lima, PE: Biblio. 367 p.
- Martín, G. 1976. Estudio Agroeconómico del *Acrocomia totai* (Mart.) (Mbocayá) en Paraguay. Paris, FR: Institut de Recherches pour Les Huiles et Oleagineux (IRHO). 52 p. (Documento; 1250).
- CEPEX (Centro de Promoción de las Exportaciones, PY). 1971. Aceite de Coco. IN: Aceites Vegetales. Asunción: PY. MIC. 1-20 p.
- SZPIZ, R. R.; LAGO, R. C. A.; JABLONKA, F. H.; PEREIRA, D. A. Óleos de macaúba: uma alternativa para a oleoquímica. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1989. p.1-10
- NOVAES, R. F. Contribuição para o estudo do coco macaúba. 1952. 85 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SING, R. PAUL; HELDMAN, DENNIS R. Introducción a la ingeniería de los alimentos. (2009) 2^{da} edición. España. Editorial Acribia, S.A.
- MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo: Livraria Varela, 1998. 151 p.
- CECCHI, H. M. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. 2.ed. Campinas: Ed. Da Unicamp, 2003. 207p.
- MALACRIDA, C. R. Alterações do óleo de soja e da mistura azeite de dendê - óleo de soja em frituras descontínuas de batatas chips. *Braz. J. Food Technol*, v.6, n.2, p. 245-249, 2003.
- LORENZI, G. *Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. ex Mart.) Arecaceae: Bases para o extrativismo sustentável. Curitiba, 2006.

PIMENTA, T. ANDRADE, M. Extração, Neutralização e Caracterização dos óleos do fruto da Macaúba (*Acrocomia Aculeata*). P. 4031-4040, 2012.